

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA AMBIENTAL

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERAS AMBIENTALES

TEMA:
“MODELAMIENTO DE LA AUTODEPURACIÓN DE LA ACEQUIA
PUMAMAQUI, COMUNIDAD DE PESILLO, CANTÓN CAYAMBE”

AUTORAS:
CAIZA ANDRANGO JOHANA ESTEFANÍA
MELÉNDEZ ENCARNACIÓN JÉSSICA LILIANA

TUTOR:
ARIAS ALTAMIRANO EDWIN RODRIGO

Quito, julio del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotras, Johana Estefanía Caiza Andrango, con documento de identificación N° 1724222201 y Jéssica Liliana Meléndez Encarnación con documento de identificación 1724668148, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del trabajo de titulación intitulado: “MODELAMIENTO DE LA AUTODEPURACIÓN DE LA ACEQUIA PUMAMAQUI, COMUNIDAD DE PESILLO, CANTÓN CAYAMBE”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERAS AMBIENTALES, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autoras nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....

Johana Estefanía Caiza Andrango

1724222201



.....

Jéssica Liliana Meléndez Encarnación

1724668148

Quito, Julio 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo Experimental, MODELAMIENTO DE LA AUTODEPURACIÓN DE LA ACEQUIA PUMAMAQUI, COMUNIDAD DE PESILLO, CANTÓN CAYAMBE realizado por Johana Estefanía Caiza Andrango y Jéssica Liliana Meléndez Encarnación, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo de titulación.

Quito, julio 2020



.....

Edwin Rodrigo Arias Altamirano

1710165869

DEDICATORIA

En primer lugar a la Virgen del Quinche que ha sido la patrona en mi vida, por permitirme culminar una de mis metas y que a pesar de mis malos momentos siempre ha sido un rayo de luz para no decaer y enseñarme que con perseverancia y esfuerzo todo se logra en la vida.

A mi familia por cada uno de los consejos que nos han brindado con su sabiduría y los hemos sabido recibir para ser mejores personas cada día y de manera especial a mis padres Carlos y Mónica que se han esmerado y sacrificado más de lo necesario para permitirme lograr un escalón más en mi vida, a mis hermanas Karlita y Damaris que me han apoyado de una manera incondicional a pesar de las adversidades, por cada uno de las palabras de aliento, apoyo y fortaleza para nunca permitir rendirme, este logro no es solo mío, es de nosotros.

A mi persona favorita, que en todo este transcurso me ha dedicado un poco de su tiempo en darme ánimo, consejos y regaños para ser mejor persona y nunca dejarme desistir en las actividades que me proponga, para que al final lleguemos a cumplir todos los sueños que nos hemos propuesto, gracias Maury por todo lo que has hecho por mí.

Y a todas esas personas que con una palabra o gesto, estuvieron apoyándome porque al final se ve reflejado en este logro.

Johana

Primeramente agradezco a Dios por haberme dado toda la fuerza, la energía, la dedicación y la alegría en el transcurso de toda mi carrera universitaria; por haberme puesto en mi camino a las personas correctas en el momento adecuado.

A mis padres principalmente Nancy y Germán, ya que ellos han sido la razón fundamental para seguir con este sueño, gracias a su esfuerzo hoy puedo ser lo que soy, un orgullo para ellos, ya que mis padres han apostado todo por mí y con mi esfuerzo lo he conseguido. A mi hermano Lesgardo un agradecimiento especial ya que él a pesar de todas nuestras diferencias ha estado siempre para mí, como su amiga antes que su hermana.

Agradezco a mi Abuelo (Abu) que está en el cielo, por todo su apoyo y las ganas que me daba para seguir adelante, el un día me dijo yo estaré para ti el día de tu defensa, aunque eso no fue así yo sé que el estará en espíritu para mí y él me va acompañar el transcurso de mi vida.

A todas esas personas que fueron parte de mi vida, que siempre confiaron y me apoyaron para seguir con todo lo que me había propuesto, les agradezco por estar presentes en toda mi carrera universitaria, ya que por su apoyo estoy consiguiendo el primer paso en mi sueños.

Jéssica

AGRADECIMIENTO

De una manera especial queremos agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana por ser parte de nuestra vida universitaria y ser como nuestro segundo hogar ya que nos ha brindado por medio de los docentes los conocimientos necesarios para formarnos como ingenieros.

A los Ingenieros: Edwin Arias, Renato Sánchez y Juan Gabriel Mollocana por compartir sus conocimientos y tiempo para con nosotras en todo el transcurso de la investigación.

Al Ingeniero Jorge Sandoval y a la comunidad de Pesillo por la predisposición y la logística para permitirnos realizar el trabajo de campo.

A los ayudantes de laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana – Sede SUR, Ingeniero Carlos Vélez y de manera especial al Ingeniero Víctor Rueda por la paciencia, colaboración, risas, enseñanza, adquirido en todo este proceso de investigación.

Y de manera especial agradecer a esas personitas que con el paso de los años se han convertido de nuestras compañeras a nuestras mejores amigas: Mary, Miry “**G**”, gracias todos los momentos compartidos a lo largo de nuestra vida universitaria, por nunca dejarnos vencer, por ser siempre únicas cuando estamos juntas, pocos entenderán esto. En fin les agradecemos por todo niñas, porque sabemos que para cualquier cosa contaremos con ustedes así como ustedes contarán con nosotras.

Johana y Jéssica

ÍNDICE

RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo General	2
2.2. Objetivos Específicos	2
3. MARCO TEÓRICO	3
3.1. Marco Legal.....	3
3.1.1. Constitución de la República del Ecuador.....	3
3.1.2. Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA)	4
3.1.3. Ley de recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua	5
3.1.4. Normas Técnicas Ecuatorianas	7
3.2. Descripción Del Área De Influencia	8
3.3. Parámetros Físico Químicos	9
3.3.1. Oxígeno Disuelto (OD)	9
3.3.2. Potencial de Hidrógeno (pH)	10
3.3.3. Temperatura.....	10
3.3.4. Sólidos Suspendidos.....	10

3.3.5.	Nitratos	10
3.3.6.	Fosfatos	11
3.3.7.	DQO	11
3.3.8.	DBO ₅	11
3.4.	Identificación De Datos Atípicos	12
3.4.1.	Diagrama De Caja.....	12
3.4.2.	Diagrama De Dispersión	13
3.5.	Modelos De Autodepuración	14
3.5.1.	Modelo de Streeter-Phelps	15
3.5.2.	Modelo De Simulación De Análisis De Calidad De Aguas (WASP) .	15
3.5.3.	Modelo Qual-2K.....	15
3.5.4.	Balance De Materia Para La Modelación De Calidad	16
4.	MATERIALES Y MÉTODOS	18
4.1.	Materiales, Equipos.....	18
4.2.	Metodología	20
4.2.1.	Fase de Inspección	20
4.2.2.	Fase De Muestreo	21
4.2.3.	Fase De Análisis De Muestras	27
4.3.	Eliminación De Datos Atípicos	34
4.4.	Aplicación Del Reactor Flujo Tapón (PFR) A Los Parámetros Analizados	37

4.4.1.	Determinación De La Auto-Depuración De La DQO Mediante PFR.	39
4.4.2.	Determinación De La Auto-Depuración De La DBO ₅ Mediante PFR	42
4.4.3.	Determinación De La Auto-Depuración De Sólidos Suspendidos Mediante PFR.....	46
4.4.4.	Determinación De La Auto-Depuración De Los Nitratos Mediante PFR	50
4.4.5.	Determinación De La Auto-Depuración De Los Fosfatos Mediante PFR	53
4.5.	Aplicación del Software Qual2K.....	57
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	60
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
6.1.	Conclusiones.....	72
6.2.	Recomendaciones.....	73
7.	BIBLIOGRAFÍA	74
8.	ANEXOS	78

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.	17
Ecuación 2.	30
Ecuación 3.	30
Ecuación 4.	32
Ecuación 5.	37
Ecuación 6.	38
Ecuación 7.	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Ubicación geográfica - comunidad de Pesillo- Acequia Pumamaqui</i>	8
Figura 2. <i>Ejemplo de Diagrama de Caja</i>	12
Figura 3. <i>Ejemplo de diagrama de dispersión</i>	14
Figura 4. <i>Reactor tubular</i>	17
Figura 5. <i>Ubicación geográfica de los 16 puntos de muestreo de la acequia Pumamaqui</i>	22
Figura 6. <i>Modelamiento mediante Software Qual2K</i>	59

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. <i>Papel de filtro</i>	19
Fotografía 2. <i>Espectofotómetro – HANNA Instruments.....</i>	20
Fotografía 3. <i>Toma de muestras para análisis físico-químicos, medición de t°C, OD y pH in situ. Ubicación: acequia Pumamaqui. PUNTO DE MUESTREO: PM-008.</i>	24
Fotografía 4. <i>Determinación de OD in situ.....</i>	28
Fotografía 5. <i>Incubación de muestras para determinar DBO₅</i>	29
Fotografía 6. <i>Viales de DQO.....</i>	31
Fotografía 7. <i>Filtración de las muestras mediante la bomba al vacío</i>	32
Fotografía 8. <i>Reactivos de nitratos y fosfatos</i>	33
Fotografía 9. <i>Sólidos Día 1.....</i>	83
Fotografía 10. <i>Sólidos Día 2</i>	83
Fotografía 11. <i>Sólidos Día 3</i>	83
Fotografía 12. <i>Sólidos Día 4</i>	83
Fotografía 13. <i>Sólidos Día 5</i>	84

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. <i>Autodepuración de la acequia con respecto al parámetro de DQO</i>	60
Gráfica 2. <i>Carga máxima permisible para DQO</i>	62
Gráfica 3. <i>Autodepuración de la acequia con respecto al parámetro de DBO₅</i>	63
Gráfica 4. <i>Carga máxima permisible para DBO₅</i>	64
Gráfica 5. <i>Autodepuración de la acequia con respecto al parámetro de Sólidos Suspendidos</i>	65
Gráfica 6. <i>Carga máxima para Sólidos Suspendidos</i>	66
Gráfica 7. <i>Autodepuración de la acequia con respecto al parámetro de Nitratos.</i>	68
Gráfica 8. <i>Carga máxima para Nitratos</i>	69
Gráfica 9. <i>Autodepuración de la acequia con respecto al parámetro de Fosfatos.</i>	70
Gráfica 10. <i>Carga máxima con respecto a Fosfatos.....</i>	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Criterios que determinan la calidad de agua</i>	4
Tabla 2. <i>Materiales Usados</i>	18
Tabla 3. <i>Equipos y aparatos utilizados</i>	19
Tabla 4. <i>Datos de Distancias entre puntos de muestreo</i>	22
Tabla 5. <i>NTE INEN: Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras</i>	26
Tabla 6. <i>Parámetros analizados</i>	27
Tabla 7. <i>Eliminación de datos atípicos</i>	34
Tabla 8. <i>Tiempo entre distancias</i>	38
Tabla 9. <i>80 % de los Valores de DQO</i>	39
Tabla 10. <i>Valores medidos vs Valores simulados [DQO]</i>	41
Tabla 11. <i>80 % de los Valores de DBO₅</i>	42
Tabla 12. <i>Valores medidos vs Valores simulados [DBO₅]</i>	45
Tabla 13. <i>80 % de los Valores Sólidos Suspendidos</i>	46
Tabla 14. <i>Valores medidos vs Valores simulados [Sólidos Suspendidos]</i>	49
Tabla 15. <i>80 % de los Valores de Nitratos</i>	50
Tabla 16. <i>Valores medidos vs Valores simulados [Nitratos]</i>	53
Tabla 17. <i>80 % de los Valores de Fosfatos</i>	54
Tabla 18. <i>Valores medidos vs Valores simulados [Fosfatos]</i>	57
Tabla 19. <i>Localización geográfica de los puntos de muestreo en coordenadas UTM (WGS84).</i>	78
Tabla 20. <i>Coordenadas de los puntos de muestreo</i>	85

Tabla 21. <i>Datos de DBO₅</i>	86
Tabla 22. <i>Datos de DQO</i>	87
Tabla 23. <i>Datos de Sólidos Suspendidos</i>	88
Tabla 24. <i>Datos de Nitratos</i>	89
Tabla 25. <i>Datos de Fosfatos</i>	90

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. <i>Puntos de muestreo</i>	78
Anexo B. <i>Fotografías de sólidos suspendidos obtenidos en el laboratorio</i>	83
Anexo C. <i>Datos Generales del muestreo</i>	85

RESUMEN

La presente investigación se basa principalmente en modelar la capacidad de autodepuración de la acequia Pumamaqui que se encuentra en la comunidad de Pesillo, parroquia Olmedo, cantón Cayambe, provincia de Pichincha, que cuenta con una extensión de 12 kilómetros mediante muestreos y determinación de parámetros de calidad de agua.

Durante el reconocimiento del lugar y al finalizar el mismo se determinó puntos relevantes los cuales iniciaron en la captación del río La Chimba hasta el límite con la provincia de Imbabura. El muestreo se realizó cinco veces durante el mes de noviembre del 2019, posterior a su toma se analizaron parámetros que determinan la calidad del agua como la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO₅), Sólidos Suspendidos, Nitratos y Fosfatos.

Al finalizar los análisis y con los resultados obtenidos en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito - Campus Sur, se procede a modelar los valores obtenidos, dándonos como resultado que la acequia Pumamaqui si se logra auto depurar en los parámetros de DQO con un 68,19 % y 76,84 % ,DBO₅ 65,42 % y 92,88 %, Sólidos Suspendidos 68,43 % y 85,32 %, Nitratos 68,38 y 93,85 %, y Fosfatos 66,38 % y 85,32 %, en base a la ley de primer orden y el software Qual2K, respectivamente.

Palabras clave: calidad del agua, capacidad de auto depuración, DBO, DQO, modelamiento.

ABSTRACT

The present investigation is mainly based on modeling the self-purification capacity of the Pumamaqui ditch that is located in the community of Pesillo, Olmedo parish, Cayambe canton, Pichincha province, which has an extension of 12 kilometers by sampling and determining parameters of water quality

During the recognition of the place and at the end of it, relevant points were determined which began in the capture of the La Chimba River to the limit with the province of Imbabura. Sampling was carried out five times during the month of November 2019, after taking it, parameters were analyzed that determine water quality such as Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand at 5 days (BOD5), Solids Suspended, Nitrates and Phosphates.

At the end of the analysis and with the results obtained in the laboratory of the Salesian Polytechnic University - Quito Headquarters - South Campus, the values obtained will be modeled, giving us as a result that the Pumamaqui ditch if self-purification of COD parameters is achieved with 68.19 % and 76.84 %, BOD5 65.42 % and 92.88 %, Suspended Solids 68.43 % and 85.32 %, Nitrates 68.38 % and 93.85 %, and Phosphates 66.38 % and 85.32 %, based on the first order law and Qual2K software, respectively.

Keywords: water quality, self-purification capacity, BOD, COD, modeling.

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

° C	Grados Centígrados
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DBO₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días
DC	Datos obtenidos en Campo
DL	Datos obtenidos en laboratorio
DQO	Demanda Química de Oxígeno
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
Km	Kilómetro
mg	Miligramos
mL	Mililitros
OD	Oxígeno Disuelto
PFR	Reactor de flujo tapón
pH	Potencial de Hidrógeno
SENAGUA	Secretaría Nacional del Agua
SS	Sólidos Suspendidos

TULSMA

Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio
Ambiente

1. INTRODUCCIÓN

Mediante el paso de los años la globalización ha ido incrementando de una forma acelerada y los impactos generados en el agua afecta a la humanidad no solo a nivel local sino también a nivel global y de manera especial a los individuos que se hallan en situaciones vulnerables debido a diferentes factores como la degradación ambiental, crecimiento demográfico, inestabilidad social, rápida urbanización, hábitos de consumo no sostenibles y desiguales, conflictos y nuevos flujos migratorios (Azoulay, 2019)

Existen sectores en el Ecuador en los que el agua subterránea es el exclusivo recurso asequible para suministrar a la población o a su vez para riego de cultivos como es en la comunidad de Pesillo en donde se realizará la presente investigación por lo que se convierte en el recurso exclusivo para el riego, a su vez es de manera vital para la actividad de los ecosistemas (Ministerio del Ambiente, 2014).

De acuerdo con los datos de la Secretaría Nacional del Agua “SENAGUA”, el uso del recurso hídrico que destaca en el país es para la actividad agrícola con el 80 % del caudal empleado, el 13 % para el uso doméstico y la industria 7 % siendo esta última la que más contamina (SENAGUA, 2010).

Es por eso que un modelado es importante ya que se determina la calidad del agua y tipos de contaminantes que son arrojados a un cuerpo receptor y la capacidad de autodepuración de un cauce de agua.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Realizar el modelamiento de la calidad del agua de la acequia Pumamaqui, en una longitud de 12 Km.

2.2. Objetivos Específicos

- Realizar la medición in situ de los parámetros de calidad del agua.
- Determinar la capacidad de autodepuración de la acequia Pumamaqui de los parámetros de DQO, DBO, Sólidos Suspendidos, Nitratos y Fosfatos, mediante un modelo Flujo Pistón.
- Conocer la carga contaminante máxima que puede soportar la acequia Pumamaqui.

3. MARCO TEÓRICO

La República del Ecuador es un territorio que cuenta con una gran dotación en cuanto al recurso hídrico, es por eso que se hace un reconocimiento de suma importancia a las diferentes leyes que se basan en el cuidado, protección y gestión de este recurso.

3.1. Marco Legal

3.1.1. Constitución de la República del Ecuador

En Ecuador, la constitución del 2008 es la máxima norma jurídica del Estado, el cual incorporó grandes avances con respecto al recurso hídrico, en él se consagró el derecho humano al agua como recurso fundamental e irrenunciable dentro del capítulo del “Buen Vivir”; además es considerado como patrimonio nacional estratégico de uso público (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

Es por eso que:

El artículo 14 en base a la Constitución de la República del Ecuador (2008) menciona. “El estado reconoce y garantizará el derecho a las personas a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación”

En el capítulo segundo con respecto a la “Biodiversidad y recursos naturales”, de la sección sexta “Agua” artículo 411 y 412. Constitución de la República del Ecuador (2008) señala. “El estado va a asegurar el manejo coordinado de los recursos hídricos mediante regulaciones en que un proyecto involucre el uso del recurso”.

3.1.2. Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA)

El Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente corresponde a una norma que tiene como objetivo precautelar y controlar la contaminación ambiental, de prioridad al agua.

Es por eso que se establece criterios para decretar la calidad de las aguas y salvaguardar la calidad del recurso, preservar las actividades asignadas y al ecosistema.

En el Libro VI Anexo I establece una serie de criterios para determinar la calidad del agua en cuanto a los diferentes usos que se dé al recurso ya sea para el consumo humano, uso doméstico, para uso agrícola o riego, uso recreativo, etc., además consta de límites permisibles y restricción que afecten al flujo de un cauce receptor.

Para nuestro caso de estudio tomamos en cuenta los principios de importancia de agua según el Límite Máximo Permissible como se muestra a continuación:

Tabla 1.

Criterios que determinan la calidad de agua

Parámetro	Unidad de medida	Criterio	Límite Máximo Permissible	Referencia
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidades de pH	Preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y estuarios.	6,5-9	TULSMA, Anexo 1, tabla 2
		Calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto primario.	6,5-8,3	TULSMA. Anexo 1, tabla 6
Oxígeno disuelto	% de saturación	Preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y estuarios	>80	TULSMA, Anexo 1, tabla 2.

Parámetro	Unidad de medida	Criterio	Límite Máximo Permisible	Referencia
Temperatura		Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.	Condición natural ± 3	TULSMA, Anexo 1, tabla 9
Sólidos Totales	mg/L	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	1600	TULSMA, Anexo 1, tabla 9
Sólidos Disueltos		Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	130	TULSMA, Anexo 1, tabla 9
Nitratos	mg/L	Preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y estuarios.	10	TULSMA, Anexo 1, tabla 2
DBO	mg/L	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.	2	TULSMA, Anexo 1, tabla 2
DQO	mg/L	Preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y estuarios	40	TULSMA, Anexo 1, tabla 2
		Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	200	TULSMA, Anexo 1, tabla 9

Fuente: (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, 2015)

3.1.3. *Ley de recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua*

Debido a la exigencia de los habitantes es esencial la presencia de un cuerpo legal orgánico y justo. “Esto se debe a que se haga posible el ejercicio del derecho humano al agua a la solución de las exigencias sociales a mediante de normativas” (Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, 2014).

En el artículo 1 establece que: Los recursos hídricos son parte patrimonial del Estado y serán de su competencia el Gobierno Central y los Gobiernos Autónomos Descentralizados. “El agua es un patrimonio nacional de uso público, dominio

inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida, elemento vital de la naturaleza” (Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, 2014).

Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (2014) nos dice:

- a) La integración de todas las aguas, sean estas, superficiales, subterráneas o atmosféricas, en el ciclo hidrológico con los ecosistemas;
- b) el agua como recurso debe ser conservada y protegida mediante una gestión sostenible y sustentable, que garantice su permanencia y calidad;
- c) El agua, como bien de dominio público, es inalienable, imprescriptible e inembargable;
- d) el agua es patrimonio nacional y estratégico al servicio de las necesidades de los y las ciudadanos y elemento esencial para la soberanía alimentaria; en consecuencia, está prohibido cualquier tipo de propiedad privada sobre el agua;
- e) el acceso al agua es un derecho humano;
- f) el estado garantiza el acceso equitativo al agua;
- g) el estado garantizará la gestión integral, integrada y participativa del agua; y
- h) la gestión del agua es pública y comunitaria. (pág. 4)

En el artículo 12 acerca de la protección, recuperación y conservación de fuentes.

Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (2014) no dice:

El estado, los sistemas comunitarios, juntas de agua potable y juntas de riego, los consumidores y usuarios son responsables en la protección de las fuentes de agua y del

manejo de páramos así como la participación en el uso y administración de las fuentes de aguas que se hallen en tierras, sin perjuicio de las competencias generales de la Autoridad Única del Agua de acuerdo con lo previsto en la Constitución y en esta Ley. (pág. 6)

La Autoridad Única del Agua, los GAD's, los usuarios, las comunas, pueblos, nacionalidades y los propietarios de predios donde se encuentren fuentes de agua, serán responsables de su manejo sustentable e integrado así como de la protección y conservación de dichas fuentes (Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, 2014, pág. 6).

3.1.4. Normas Técnicas Ecuatorianas

Estas normas se basan de manera principal en la “actividad de establecer, frente a problemas reales o potenciales, disposiciones para uso común, encaminadas a la obtención del grado óptimo de orden en un contexto dado” (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016). Esto involucra al desarrollo de diferentes actividades en múltiples campos como es la ingeniería, transporte, agricultura, etc.

Es por eso que se detalla a continuación las Normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), que fueron considerados para el procedo de muestreo:

- Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169. correspondiente a Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras.
- Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2176. correspondiente a Agua: Calidad del agua, muestreo y técnicas de muestreo (NORMA TECNICA ECUATORIANA, 2013, págs. 3-7;3-10)

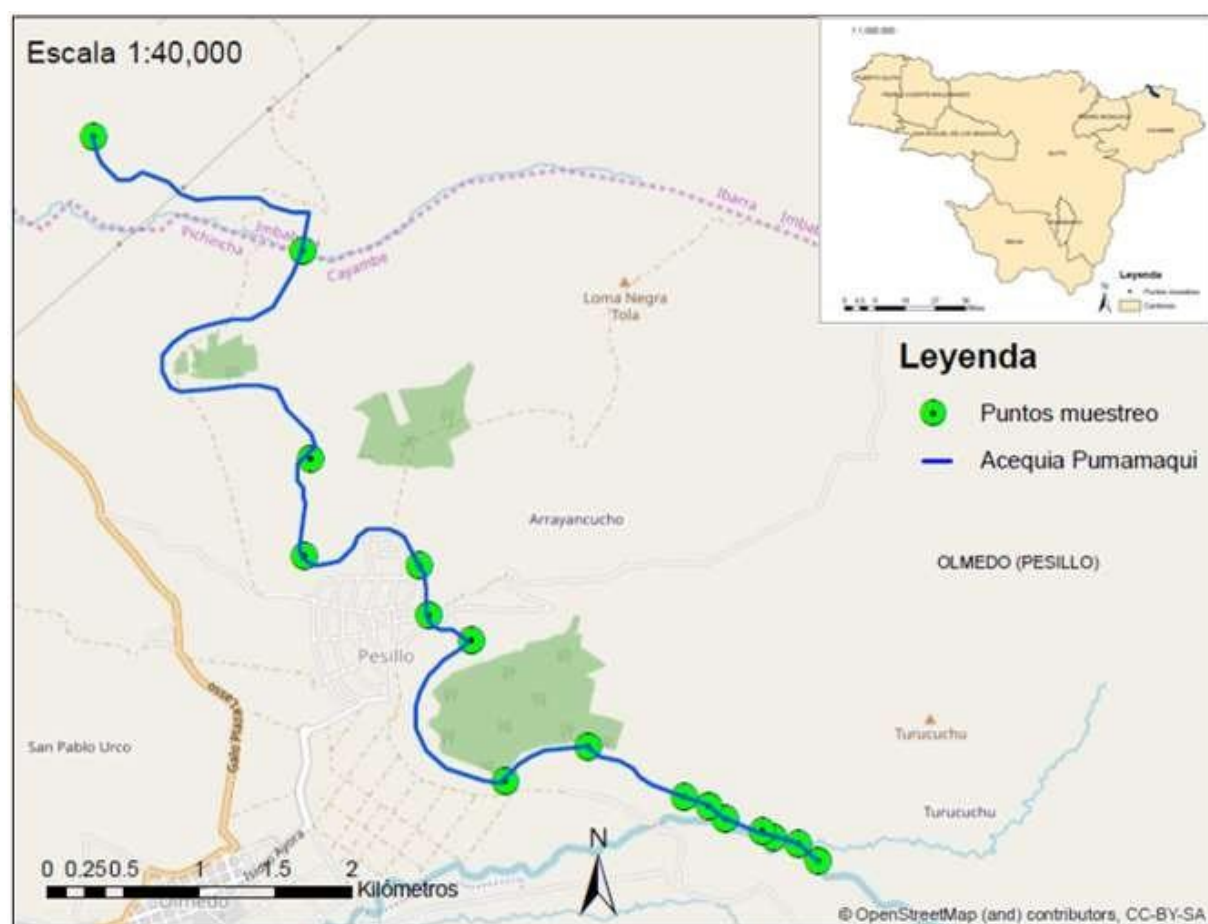
3.2. Descripción Del Área De Influencia

La ubicación administrativa de la acequia Pumamaqui corresponde a la sub-cuenca río La Chimba, la cual corresponde a la cuenca del río Pisque, en la comunidad de Pesillo, parroquia de Olmedo, cantón Cayambe, provincia de Pichincha.

El área de influencia correspondiente a la acequia Pumamaqui está ubicado en las siguientes coordenadas UTM: 826609E, 10017176N con una altitud de 3100 metros sobre el nivel del mar (Universidad Politécnica Salesiana, 2018).

Figura 1.

Ubicación geográfica - comunidad de Pesillo- Acequia Pumamaqui



Elaborado por: Caiza J, Meléndez J. 2020

En cuanto a los factores climáticos que hacen presencia en la comunidad de Pesillo se basó a los datos de la estación meteorológica del INAMHI y de Universidad Politécnica Salesiana, ambas se ubican en la parroquia de Olmedo a una distancia de 2,5 kilómetros de la comunidad de Pesillo (Universidad Politécnica Salesiana, 2018).

Con respecto a la precipitación de la comunidad de Pesillo se tomó como base los datos de los registros mensuales y diarios de la estación del INAMHI y la Universidad Politécnica Salesiana respectivamente, que nos dan resultados de pluviosidad anual con un valor de 674 mm, de los cuales los meses de enero a mayo y de octubre a diciembre considerados como más lluviosos, y los meses considerados como época seca son los meses de junio a septiembre.

Históricamente la presencia de éste líquido vital, ha sido tratada de manera preferente por los pueblos originarios e indígenas, los cuales supieron y saben aprovechar este recurso de varios modos tanto para el consumo humano, riego y así con fines ceremoniales ya que es necesario en la composición de la Pacha Mama (madre naturaleza). (Martínez, 2017), es por esto que en Pesillo existe una producción agrícola diversa que cuenta con 2 140,80 ha de superficie siendo el más predominante el pasto con 1 576,01 ha de superficie total y mediante el recorrido de la acequia se identificó los puntos críticos, los cuales fueron tomados en cuenta para realizar el muestreo de calidad.

3.3. Parámetros Físico Químicos

3.3.1. *Oxígeno Disuelto (OD)*

Es un parámetro que determina la calidad del agua. Una forma para determinar el OD puede ser “in situ” en base a un electrodo de membrana (UNE-EN 25814:1992, 2018), o por yodometría (UNE-EN 25813:1994) su unidad es mg/L. “Se debe precautelar

no arrastrar ni disolver oxígeno del aire durante la manipulación de la muestra” (Jiménez & Barba, 2000).

3.3.2. *Potencial de Hidrógeno (pH)*

Es un indicador que sirve para identificar las condiciones básicas, ácidas o neutras del agua. El pH va de una escala de 0 – 14, donde el pH inferior a 7 indica una acidez, el pH superior a 7 nos señala una alcalinidad. El pH se mide en laboratorio o campo por medio de pH-metro (Sierra, Castillo, & Acevedo, 2013).

3.3.3. *Temperatura*

La temperatura determinada “in situ” se lo realiza mediante termometría. La temperatura se puede medir directamente en el cuerpo de agua. En caso de que esta medición se nos complique se puede utilizar un dispositivo de muestreo (como botella o frasco) (Sierra, Castillo, & Acevedo, 2013).

3.3.4. *Sólidos Suspendidos*

Los sólidos suspendidos se establecen al aumento de peso que experimenta el filtro de fibra de vidrio (previamente tarado) tras la filtración al vacío, de una muestra que después es secada a 105 °C. “El incremento de peso del filtro simboliza los sólidos totales en suspensión” (Sierra, Castillo, & Acevedo, 2013, pág. 47).

3.3.5. *Nitratos*

La oxidación aeróbica de los compuestos amoniacales y órgano nitrogenados, conduce a la formación de nitritos y posteriormente de estos en nitratos por lo que una concentración superior de nitratos nos menciona que existe una contaminación de agua. Jiménez & Barba (2000) indica. “Al igual que el amonio, nitratos y nitritos son determinados a través de espectrofotometría de adsorción”.

3.3.6. Fosfatos

Los fosfatos presentes en un flujo de agua superficial representan un problema debido a su concentración ya que los organismos unicelulares van a depender de la presencia de fósforo presente para su alimentación. (Severiche-Sierra & González, 2012).

Los fosfatos tienen una importancia en las plantas de manera especial en la raíz, ya que permite el aumento de las mismas es por eso que es considerado uno de los fertilizantes más utilizados en la actividad agrícola. Sin embargo, el fosfato en concentraciones altas en el momento del riego puede generar una contaminación ambiental ya es un factor primario para la eutrofización. Es por eso que las leyes locales rigen el uso de fosfatos y los niveles de descarga en los ríos. (HANNA Instruments, 2019).

3.3.7. DQO

Corresponde a la dosis de oxígeno que se requiere para la oxidación de materia orgánica presente en el agua. Este parámetro se relaciona directamente con la DBO ya que el valor debe ser igual o mayor a éste.

3.3.8. DBO₅

Se determina por diferencia entre el oxígeno disuelto en la muestra inicial y el medido en función del tiempo de incubación. La incubación se realiza en frascos Winkler de volumen conocido colocados en estufa a 20 °C en ausencia de luz (Jiménez & Barba, 2000, pág. 5)

Por lo general, la demanda de oxígeno para degradar biológicamente la muestra, sobrepasa los valores de Oxígeno Disuelto a 20 °C, y es por esta razón que se requiere disolver la muestra hasta obtener datos por debajo de 3 mg/L de DBO. Por el contrario si no muestra microorganismos de forma natural (situación muy corriente en vertidos de origen industrial). Esto quiere decir que, el estado de

depuración o autodepuración se basa en la descarga de residuos que demandan oxígeno (Interconsulting Bureau S.L., 2017, págs. 14-15).

3.4. Identificación De Datos Atípicos

La observación de los datos atípicos son cuyo comportamiento se diferencia claramente del comportamiento de otros valores. Es por eso que existen algunas características que determinan un dato outlier, como sería la cuestión de un error de codificación, de entrada o de dato, otra característica es denominada observación extraordinaria en la cual la persona responsable del manejo de los datos debe eliminarla ya que no tiene explicación, es por eso que estos datos atípicos se eliminan. Algunas observaciones también que se encuentran fuera de rango a diferencia de las demás observaciones de los valores, son considerados extremos y son eliminados si no representan significancia en la muestra. (Quintín, Cabero, & De Paz, 2008).

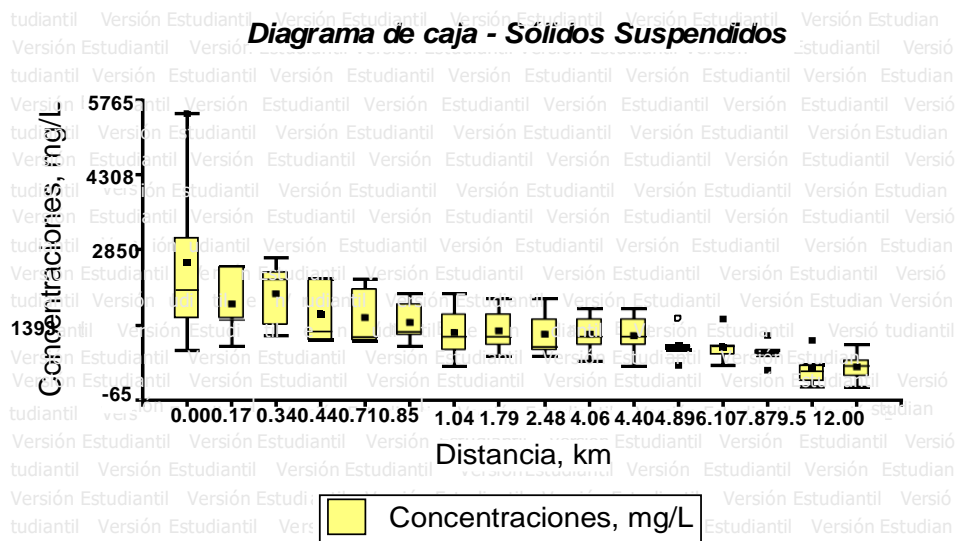
Para poder determinar los datos atípicos hay varios métodos como los siguientes:

3.4.1. Diagrama De Caja

Estos valores atípicos son observaciones que están por lo menos 1,5 veces el rango de intercuartiles (Q3 y Q1) del borde la caja. En donde el Cuartil 3 (Q3) es el valor que excede a los valores de distribución con un valor del 75 %, y el Cuartil 1 (Q1) va a representar el valor mayor que el 25 % de los valores de la distribución.

Figura 2.

Ejemplo de Diagrama de Caja



Nota: Diagrama de caja realizado en InfoStat, los valores obtenidos en laboratorio para determinar datos atípicos presentes.

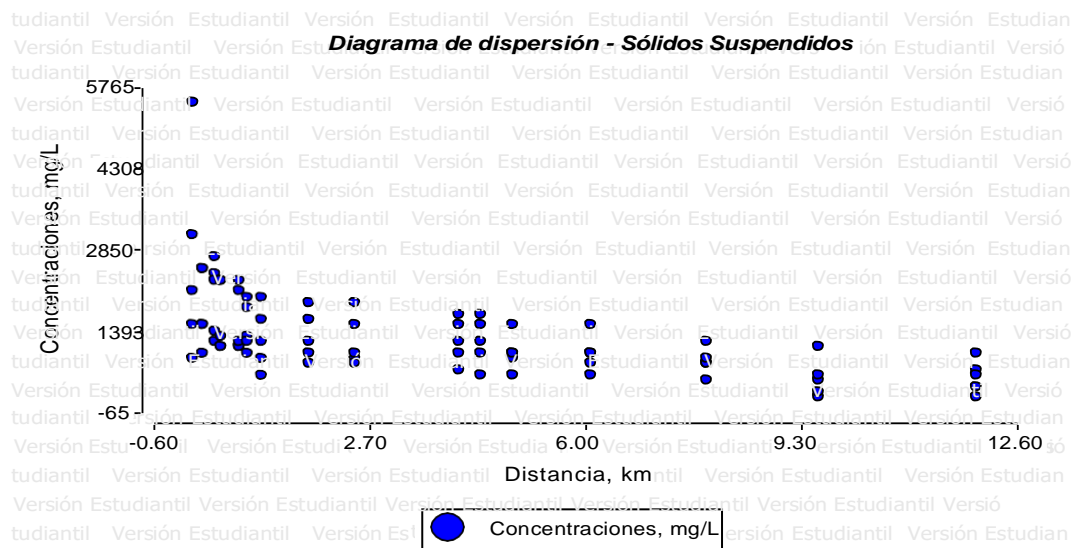
Elaborado por: Caiza J, Meléndez J. 2020

3.4.2. Diagrama De Dispersión

Un diagrama de dispersión nos permite determinar qué puntos se encuentran fuera de rango de los demás datos observados mediante coordenadas cartesianas que determinan los valores de las variables. La fuerza de la correlación puede determinarse por la proximidad de los puntos entre sí del gráfico, en el cual los puntos que terminan fuera del conjunto general son considerados datos atípicos. Es por eso que mediante una dispersión de datos se puede conocer si una variable o valor va a afectar sobre el resto de datos, por ende al resultado total. (Minitab, 2019)

Figura 3.

Ejemplo de diagrama de dispersión



Nota: Diagrama de dispersión realizado en InfoStat, los valores obtenidos en laboratorio para determinar datos atípicos presentes.

Elaborado por: Caiza J, Meléndez J. 2020

Sin embargo para poder concluir que algunos datos son considerados atípicos, se debe analizar más de un tipo de gráfica debido a que en algunos pueden ser muy obvio a diferencia de otros que no se logran visualizar de manera clara.

3.5. Modelos De Autodepuración

Un modelo va a representar una unión de conceptos y ecuaciones que permitan acercarse a los valores reales de un proceso, ya que para modelar la calidad del agua dependerá de múltiples factores, aunque la principal causa que influye son las actividades humanas, es por eso que se necesitan de instrumentos que ayuden a la modelación del transporte de contaminantes en corrientes naturales para definir los posibles impactos en el medio receptor y que afecten al desarrollo de las actividades humanas y en general la

calidad del ecosistema llevando a una renovación de la gestión de calidad del recurso hídrico.

3.5.1. *Modelo de Streeter-Phelps*

Este modelo se basa principalmente en describir el comportamiento de un río con condiciones aerobias, flujo con superficie libre, flujo permanente, ya que estima el cambio de concentración de materia orgánica y el déficit de oxígeno disuelto en un mismo lugar, suponiendo condiciones de estado estacionario y flujo pistón. (Montés, Navarro, Domínguez, & Jiménez, 2013).

3.5.2. *Modelo De Simulación De Análisis De Calidad De Aguas (WASP)*

El modelo de análisis de calidad de aguas tiende a ayudar a la interpretación y predicción de la calidad del agua frente a fenómenos naturales y actividades antropogénicas.

Dicho modelo es usado para sistemas acuáticos ya que puede representada la variación con el tiempo de los procesos de dispersión, carga de masa puntual y difusa y cambios de límite, al igual que relaciona la hidrodinámica con modelos de transporte de sedimentos y provee flujos, temperatura velocidad salinidad y flujo de sedimentos. (Ramirez & Leal, 2013)

3.5.3. *Modelo Qual-2K*

Este modelo se basa en simular la dispersión de los componentes presentes en el agua, tales como la temperatura DBO, fosfatos, nitrógeno, oxígeno disuelto, coliformes, etc. Este software puede modelar varios niveles de complejidad desde la ecuación de Streeter Phelps hasta modelar una eutrofización, tomando en cuenta variantes como el tiempo, en un sistema de flujos.

La metodología de este modelo se basa en reactores perfectamente mezclados, es decir, que tengan tramos con condiciones similares, al igual que una longitud uniforme, otra característica de este modelo es que puede manejar varios ríos, uniones de corrientes y descargas o Extracciones De Agua (Ramirez & Leal, 2013).

Entre las características que presenta este software Qual2k es la modelación unidimensional, es decir que modela en dirección al flujo del cauce, además este programa se desarrolló con cálculos de tipo matemático programados en Windows Fortran 90 y en cuanto a la interfaz gráfica utiliza Microsoft Excel (Corporación Autónoma Regional de Nariño, 2011)

3.5.4. Balance De Materia Para La Modelación De Calidad

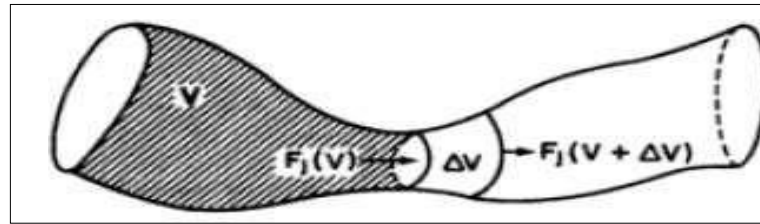
La base de cualquier modelo de calidad de agua es determinado por el balance de materias, estos balances son aplicados a cada uno de los objetos de interés, ya sean contaminantes, oxígeno disuelto, microorganismos, etc., los cuales estas sustancias constituyen los componentes del modelo.

En sistemas completamente mezclados se cumple el balance de masas que se basa principalmente al conteo de las entradas y salidas (Matovelle, 2017).

3541. Reactor Flujo Pistón (PFR). De acuerdo a la investigación la metodología a usar es en base al reactor tubular, debido a que supone que la concentración varía continuamente en la dirección axial a todo lo largo del reactor (Fogler, 2008), como se observa en la **Figura 4**.

Figura 4.

Reactor tubular



Fuente: (Fogler, 2008)

Por consiguiente, la velocidad de la reacción varía axialmente, es por eso que se utilizará la ecuación general de la velocidad de reacción de primer orden en la cual se debe analizar cada uno de los parámetros vinculando la velocidad de reacción con las concentraciones de las especies reaccionantes., la cual se aplica bien a nuestro modelo de reactores tubulares con área de sección transversal variable y constante debido a que la reacción que se alcanza en un reactor tubular de flujo pistón no depende de su forma sino sólo de su volumen total.

Este modelo físico-químico y/o biológico integra ecuaciones de la cinética de cada uno de los contaminantes definiendo las tasas de cambio de cada uno de los parámetros que importan en el tratamiento (Arévalo, Ramón, & Ramón, 2015)

3.5.4.1.1. Ley De Velocidad De Reacción De Primer Orden. Fogler (2008) menciona. “La ley de velocidad de reacción de primer orden es directamente proporcional a la concentración de una única especie A y es independiente de las concentraciones de todas las demás”, es decir, en una reacción de primer orden $[A]$ disminuye exponencialmente con el tiempo (Levine, 2014), por eso que se utilizará para los análisis matemáticos de los parámetros de DQO, DBO₅, Nitratos, Fosfatos y Sólidos Suspendidos.

$$\ln \left(\frac{C_f}{C_o} \right) = -k \frac{x}{v}$$

Ecuación 1.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el trabajo de investigación se utilizó la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169. Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras, (2013), al igual que la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2176. Agua: Calidad del agua, muestreo y técnicas de muestreo (2013)

4.1. Materiales, Equipos

Para realizar el trabajo de investigación se requirió varios recursos como se especifica en la siguiente tabla:

Tabla 2.

Materiales Usados

MATERIALES	
Frascos Boeco 250 MI	Crisoles de 100 MI
Frascos Winkler de 100 MI	Pipetas de 10 mL
Probeta 100 ml	Pinzas
Balón aforado	Agua destilada
Bomba al vacío	Viales DQO HI-93754B-0 COD
MR	
Vasos de precipitación de 100 mL	
Viales DQO HI93754A-0 COD LR	
Papel de filtro, poro: $0,45\mu m$, diámetro: 47 mm, color blanco, superficie circular	
Reactivo de Nitratos, Marca HANNA Instruments HI-93728-01	
Reactivo de Fosfatos, Marca HANNA Instruments HI-93713-0, Rango Bajo	

Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

En la presente fotografía se visualiza los papeles filtros utilizados para determinar los sólidos suspendidos en el laboratorio.

Fotografía 1.

Papel de filtro



Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

A continuación, se presenta los instrumentos utilizados en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana, Campus Sur.

Tabla 3.

Equipos y aparatos utilizados

EQUIPOS Y APARATOS	
Balanza Analítica	
Desecadores	
Digestor	
Estufa	
Espectrofotómetro marca HANNA Instruments, Modelo HI-83208	

Elaborado por: Caiza J. & Meléndez J. (2019)

A continuación se visualiza el espectrofotómetro utilizado para determinar Nitratos y fosfatos marca HANNA Instruments, modelo HI-83208.

Fotografía 2.

Espectrofotómetro – HANNA Instruments



Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

4.2. Metodología

El trabajo experimental consideró las siguientes fases:

4.2.1. Fase de Inspección

Se estableció un cronograma en el cual se detalla los días de visita al lugar de estudio.

Posterior a la visita de campo se establecen los lugares donde se realizarán el control para el estudio de la condición del agua y el número total de muestras a recolectar por cada día y se tomó los siguientes aspectos que son considerados para la selección del punto de muestreo como menciona (CELEC, s.f.):

- Acceso al lugar de estudio de las diferentes vías de comunicación.
- Distancia entre el lugar “comunidad de Pesillo” y la recepción de la muestras “Laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana”.

- Disponibilidad de transporte terrestre para las muestras.
- Identificación de las principales actividades cercanas a la acequia.
- Las muestras deben ser lo más representativas posible, es decir que englobe las características totales que componen un flujo de agua, de manera especial la turbulencia que presente la corriente de agua y la apariencia física.
- El punto de muestreo debe poseer condiciones estables en las cuales las condiciones meteorológicas se debe asegurar la integridad de los individuos encargados del muestreo.

En cada sitio se determinó las posibles fuentes de contaminación como la presencia de ganado y descargas de aguas servidas que puedan modificar la calidad del agua de la acequia Pumamaqui. También se registra las coordenadas de cada sitio de muestras.

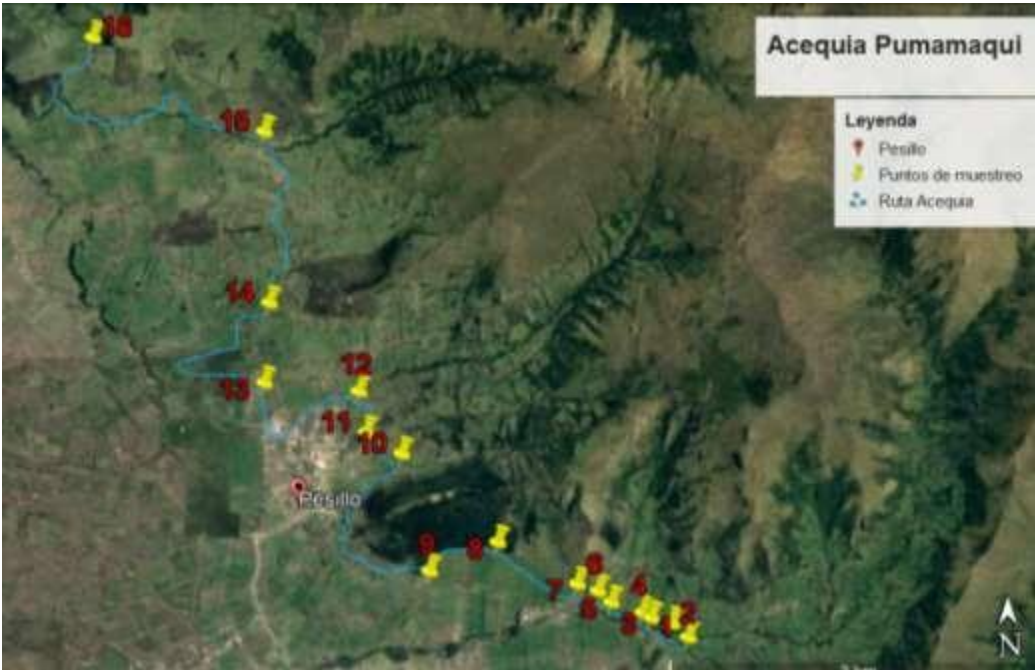
4.2.2. Fase De Muestreo

“La recolección de muestras se efectuó en lugares determinados por la fase de inspección. Las variables seleccionadas muestran un considerable incremento en relación al origen, ya que pueden tener efectos adversos al usar el agua proveniente de la acequia”. (SENAGUA, 2010, pág. 11)

4.2.2.1. Puntos De Muestreo. Para el sitio de los puntos muestreados se tomó referencia el inicio de la acequia Pumamaqui en la captación del Río La Chimba con un recorrido de 12 kilómetros, en donde algunos puntos fueron tomados en cuenta como mencionan (Carvajal & Olives, 2019) tal es el caso del punto dos al punto cinco, el punto siete y ocho. En cuanto a los puntos restantes de muestreo fueron determinados al momento de realizar la visita al lugar de estudio.

Figura 5.

Ubicación geográfica de los 16 puntos de muestreo de la acequia Pumamaqui



Elaborado por: Caiza J. Meléndez J. 2020

A continuación se presentan las distancias en kilómetros entre los puntos de muestreos

Tabla 4.

Datos de Distancias entre puntos de muestreo

Punto	Distancia entre puntos de muestreo	Distancia acumulada
1-2	0,17	0,17
2-3	0,17	0,34
3-4	0,10	0,44
4-5	0,27	0,71
5-6	0,14	0,85
6-7	0,19	1,04
7-8	0,75	1,79

Punto	Distancia entre puntos de muestreo	Distancia acumulada
8-9	0,69	2,48
9-10	1,58	3,06
10-11	0,34	4,4
11-12	0,49	4,89
12-13	1,21	6,1
13-14	1,77	7,87
14-15	1,70	9,57
15-16	2,43	12

Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

Los muestreos se realizaron por 5 días, en cada día se tomaron 16 muestras dando un total de 80 muestras.

4.2.2.2. Tipo De Muestra. Para el muestreo de las aguas, estas fueron tomadas de forma manual y en los sitios ya designados con anterioridad y de esta manera se pueda representar la composición en la que se encuentra la acequia Pumamaqui.

4.2.2.2.1. Toma De Muestra. Según Real Academia de Ingeniería (2012). “Un punto de muestreo de agua es definido como la posición exacta donde se tomarán las diferentes muestras de agua a ser analizadas”, además los puntos de muestreo deben ser ubicados en un lugar accesible para la toma de muestras y el transporte de dichas muestras de agua.

Para cumplir con los objetivos de la investigación sobre la acequia Pumamaqui se determinaron 16 puntos de muestreo para realizar la respectiva toma de muestras de agua, los cuales fueron definidos en la visita al lugar de estudio.

Para los análisis físicoquímicos la toma de muestras se realizará en recipientes nuevos y estériles de plástico de 2000 mL de volumen, siguiendo las especificaciones que

se dictan en las NTE INEN 2169. Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras (2013) y NTE INEN 2176. Agua: Calidad del agua, muestreo y técnicas de muestreo (2013).

Antes de proceder a la toma de muestras de agua en cada punto determinado, el recipiente nuevo y estéril deberá ser lavado por tres (3) ocasiones con el agua de la acequia del punto a muestrear, para que no se contamine o deteriore la misma antes de llegar a los laboratorios. La recolección de las muestras de agua se realizará en la mitad de la acequia y en dirección contraria al flujo de la acequia procurando que no exista presencia de turbulencia.

Posteriormente se realizó el etiquetado de los envases el cual constaba de punto de toma, hora, fecha, lugar de recolección, nombre del recolector, adjuntando en libreta de campo observaciones relevantes referentes a los lugares de toma y registro fotográfico.

Fotografía 3.

Toma de muestras para análisis físico-químicos, medición de $t^{\circ}\text{C}$, OD y pH in situ.

Ubicación: acequia Pumamaqui. PUNTO DE MUESTREO: PM-008.



Elaborado por: Caiza J. Meléndez J. 2020

4.2.2.2.2. Preservación De Muestras. Para la cadena de custodia. “Para proteger las muestras de la luz solar y mantener una temperatura de entre 4 °C y 8 °C, con el fin de disminuir cambios químicos y biológicos que puedan alterar la composición fisicoquímica de las muestras una vez tomadas del lugar de origen” (NTE INEN 2169:98. Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras, 2013, pág. 4). Tomando en consideración que las muestras fueron trasladadas a los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana – Campus Sur – Sede Quito.

4.2.2.3. Control De Calidad. Durante el procedimiento que se realizará en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana - Campus Sur - Sede Quito, se utilizará una bata blanca de algodón y guantes de nitrilo, con el fin de prevenir/reducir la contaminación.

No se sobrepasará el tiempo límite en la cadena de custodia de las muestras, el cual va a depender de cada parámetro, como se detalla a continuación:

Tabla 5.*NTE INEN: Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras*

Parámetro	Tipo de recipiente V(vidrio), P (plástico), VB (Vidrio silicatado)	Volumen típico (mL) y técnica de envasado	Técnica de preservación	Tiempo Máximo recomendado de preservación antes del análisis después de la conservación
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	P o V	Llenar completamente contenedor para excluir aire (1000 mL)	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C	24 horas
	P	1000	Congelar a -20 °C	1 mes
Demanda química de oxígeno (DQO)	P o V	100	Acidificar a pH 1 a 2 con H ₂ SO ₄	1 mes
	P	100	Congelar a -20 °C	1 mes
Fósforo	V o VB o P	250	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C	1 mes
	P	250	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C	1 mes
	P o V	250	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C	24 horas
Nitrato	P o V	250	Acidificar entre pH 1 a 2 con HCl	7 días
	P	250	Congelar a -20 °C	1 mes
Sólidos suspendidos	P o V	500	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C	2 días

Fuente: (NTE INEN 2169. Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras, 2013)

4.2.3. Fase De Análisis De Muestras

A continuación se detalla los parámetros que fueron tomados en cuenta tanto in situ (campo) como en laboratorio.

Tabla 6.

Parámetros analizados

Parámetros medidos in-Situ	Parámetros medidos en Laboratorio UPS-Campus Sur
Oxígeno disuelto	Oxígeno Disuelto
pH	pH
Temperatura	Temperatura
	DBO ₅
	DQO
	Sólidos Suspendidos
	Nitratos
	Fosfatos

Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

Todos los resultados realizados se basaron con respecto a la NTE INEN 2169:98 del Instituto Ecuatoriano de Normalización.

4.2.3.1. Medición De Parámetros In-Situ

4.2.3.1.1. Oxígeno Disuelto. Para medir los parámetros in situ, como el oxígeno disuelto se requiere un oxímetro portátil, marca HORIBA modelo OM-71, se introdujo el electrodo en el vaso de precipitación hasta la mitad; una vez que se estabilizó el equipo se tomó la lectura del OD en mg/L y se anotó los datos en la libreta de campo.

Fotografía 4.

Determinación de OD in situ



Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

4.2.3.1.2. Temperatura y pH. Para el caso de pH y la Temperatura se utilizó un pH-metro portátil, marca HANNA Instruments modelo HI-98121, el mismo que ya se encontraba calibrado, de esta manera se introdujo el electrodo en el vaso de precipitación hasta la mitad; una vez que se estabilizó el equipo se tomó la lectura y se registraron los datos en la libreta de campo.

4.2.3.2. Medición De Parámetros En El Laboratorio

Se realizó cinco días de muestreos y cada día se obtuvieron 16 muestras dándonos un total de 80 muestras al finalizar los muestreos, para los parámetros de DBO_5 , DQO, Sólidos Suspendidos, Nitratos y Fosfatos se realizaron en el Laboratorio de Aguas y Química en el Campus Sur de la Universidad Politécnica Salesiana; los análisis estuvieron a cargo de las estudiantes Caiza Johana y Meléndez Jéssica.

4.2.3.2.1. DBO_5 . Para determinar la DBO_5 se registraron datos de OD inicial tanto de la muestra como del blanco, para esto se utilizó 99 mL de muestra en frascos Winkler

de 100 mL y Boeco de 250 mL y 1 mL de solución de agua dilución, esta es preparada por cada litro de agua dilución 1mL de cada una de las siguientes soluciones: Regulador de fosfatos pH 7.2, Sulfato de Magnesio (MgSO_4), Cloruro de Calcio (CaCl_2) y Cloruro de Hierro (FeCl_2), en cada uno de los recipientes, posterior a eso se procedió a cubrir los frascos Winkler y Boeco con papel aluminio para evitar que reciba luz solar o artificial, se introdujo a la estufa a una temperatura de 20 ± 1 °C por un lapso de 5 días; luego de 5 días de incubación se midió el OD final a cada uno de ellos mediante la utilización de un oxímetro (Hincapié & Chaverra, 2015).

Fotografía 5.

Incubación de muestras para determinar DBO_5



Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

Para obtener los valores de DBO_5 se empleó la **Ecuación 2**:

$$DBO_5 \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2) \times f}{P} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Dónde:

- D_1 = Oxígeno disuelto en la muestra diluida inmediatamente después de la preparación.
- D_2 = Oxígeno disuelto en la muestra diluida después de 5 días de incubación a 20 °C.
- B_1 = Oxígeno disuelto en el agua de dilución previo a la incubación.
- B_2 = Oxígeno disuelto en el agua de dilución posterior a los 5 días de incubación a 20 °C.
- P = Fracción decimal volumétrica de muestras usada $\left(\frac{V_{mtra}}{100} \right)$

$$f = \frac{\text{Volumen semilla en } D_1}{\text{Volumen de semilla en } B_1}$$

$$f = \frac{300 - V_{\text{muestra sembrados en el winkler en mL}}}{300} \quad \text{Ecuación 3.}$$

4.2.3.2.2. DQO. Para determinar la DQO se utilizaron las 16 muestras de aguas obtenidas a diario en el muestreo, además se adquirió los viales para la determinación de DQO en rango bajo y (HI-93754B-0 COD MR) para rango medio, de cada muestra se colocó 2 mL en cada vial y para medir este parámetro se utilizó el digestor a una temperatura de 150 °C con un tiempo de 120 minutos. Transcurrido el tiempo se deja enfriar para

proceder a medir en el Espectrofotómetro marca HANNA Instruments, Modelo HI-83208 y se registraron los datos obtenidos, que se pueden visualizar en la **Tabla 22**.

Fotografía 6.

Viales de DQO



Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

4.2.3.2.3. Sólidos Suspendidos. Para obtener los valores de sólidos suspendidos en las muestras de agua se usó el siguiente procedimiento:

- Pesar el crisol o cápsula, en este caso se utilizó crisoles de 100 mL, con el papel filtro en el interior.
- Llevar a la estufa a una temperatura de 105 °C por un lapso de 2 horas, posterior a eso se lleva al desecador por un tiempo aproximado de treinta (30) minutos.
- Armar el equipo bomba al vacío para poder filtrar el agua y obtener así la cantidad de sólidos suspendidos presentes en la muestra.
- Introducir el crisol en la estufa con el papel ya filtrado a una temperatura de 105 °C por un lapso de 2 horas, posterior a eso se lleva al desecador por un tiempo aproximado de treinta (30) minutos.

- Pesar el crisol con el papel filtrado y anotar los valores obtenidos.

La fórmula que se utilizó para los cálculos según establece (Standar Methods for the examination of water and wastewater, 2012, pág. 2.66).

$$SS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(A-B) \times 1000}{Volumen \text{ de muestra (mL)}} \quad \text{Ecuación 4.}$$

Dónde:

- A = Peso del filtro + residuo seco (mg),
- B = Peso del filtro (mg).

Los valores obtenidos se pueden visualizar en la **Tabla 23**.

Fotografía 7.

Filtración de las muestras mediante la bomba al vacío



Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

4.2.3.2.4. Nitratos ($\text{mg NO}_3/\text{L}$). En cuanto a la determinación de nitratos se colocó 10 mL de muestra hasta el nivel de referencia del frasco que es apropiado del equipo y se procede a medir el blanco en el espectrofotómetro marca HANNA Instruments, Modelo HI-83208, posterior a eso se añadió el paquete de reactivo HI-93728-01 y se vuelve a colocar la tapa agitándolo durante un (1) minuto para proceder a su lectura; si es el caso de que quede algún depósito, éste no afectará a la lectura, sin embargo la forma de agitación y el tiempo si pueden alterar los resultados (HANNA Instruments, 2019).

4.2.3.2.5. Fosfatos ($\text{mg PO}_4/\text{L}$). Para determinar el valor de fosfatos en la muestra se colocó 10 mL de la muestra hasta el nivel establecido, en el frasco apropiado del equipo y se procede a medir el blanco en el espectrofotómetro marca HANNA Instruments, Modelo HI-83208, posterior a eso se añadió el paquete de reactivo HI-93713-0 y se vuelve a colocar la tapa agitándolo durante un (1) minuto para proceder a su lectura; si es el caso de que quede algún depósito, éste no afectará a la lectura, sin embargo la forma de agitación y el tiempo sí pueden alterar los resultados (HANNA Instruments, 2019).

Fotografía 8.

Reactivos de nitratos y fosfatos



Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

4.3. Eliminación De Datos Atípicos

Una vez determinados como se puede identificar datos atípicos se procede a eliminarlos mediante la utilización de cuartiles ya que van a generar ruido al momento del proceso de modelado.

Para esto se aplicó los cuartiles 3 y cuartiles 1 de cada uno de los parámetros a analizar tal como el siguiente ejemplo, en cual se aplicó al total de datos del parámetro de Demanda Química de Oxígeno (DQO):

Tabla 7.

Eliminación de datos atípicos

Distancia [km]	Dato Inicial	Dato atípico	Q1	Q3	IQR	Límite Superior	Límite Inferior
0	60	VERDADERO	18.35	27.2	8.85	40.475	5.075
0	20.2	FALSO					
0	20	FALSO					
0	20.8	FALSO					
0	57	VERDADERO					
0.17	61	VERDADERO					
0.17	25.6	FALSO					
0.17	21.2	FALSO					
0.17	31.4	FALSO					
0.17	37	FALSO					
0.34	18.2	FALSO					
0.34	18.4	FALSO					
0.34	27.2	FALSO					
0.34	42	VERDADERO					
0.34	35.3	FALSO					
0.44	19.6	FALSO					
0.44	25.3	FALSO					
0.44	22.2	FALSO					
0.44	29.2	FALSO					
0.44	37.2	FALSO					

Distancia [km]	Dato Inicial	Dato atípico	Q1	Q3	IQR	Límite Superior	Límite Inferior
0.71	15.8	FALSO					
0.71	25.6	FALSO					
0.71	21.4	FALSO					
0.71	25.4	FALSO					
0.71	42	VERDADERO					
0.85	16.2	FALSO					
0.85	15.8	FALSO					
0.85	21.2	FALSO					
0.85	33.4	FALSO					
0.85	34.2	FALSO					
1.04	14.6	FALSO					
1.04	22.7	FALSO					
1.04	22.1	FALSO					
1.04	28	FALSO					
1.04	33.1	FALSO					
1.79	19	FALSO					
1.79	15.9	FALSO					
1.79	20.6	FALSO					
1.79	27	FALSO					
1.79	37.8	FALSO					
2.48	16.6	FALSO					
2.48	19.3	FALSO					
2.48	19.4	FALSO					
2.48	25	FALSO					
2.48	36.9	FALSO					
4.06	18.5	FALSO					
4.06	17.8	FALSO					
4.06	19.3	FALSO					
4.06	27	FALSO					
4.06	33	FALSO					
4.4	17.8	FALSO					
4.4	21	FALSO					
4.4	21.6	FALSO					
4.4	27	FALSO					

Distancia [km]	Dato Inicial	Dato atípico	Q1	Q3	IQR	Límite Superior	Límite Inferior
4.4	27.2	FALSO					
4.89	16.6	FALSO					
4.89	25.3	FALSO					
4.89	21.2	FALSO					
4.89	21.6	FALSO					
4.89	20.7	FALSO					
6.1	17.4	FALSO					
6.1	20.1	FALSO					
6.1	20.7	FALSO					
6.1	24.8	FALSO					
6.1	22.1	FALSO					
7.87	14.9	FALSO					
7.87	16.7	FALSO					
7.87	20.3	FALSO					
7.87	29.2	FALSO					
7.87	20.2	FALSO					
9.57	13.8	FALSO					
9.57	17.8	FALSO					
9.57	14.8	FALSO					
9.57	30.2	FALSO					
9.57	22	FALSO					
12	12.6	FALSO					
12	16.4	FALSO					
12	16.3	FALSO					
12	23.2	FALSO					
12	16.4	FALSO					

Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

Una vez ejecutado los cálculos respectivos en el programa Microsoft Excel, podemos visualizar que los valores que presentan a su lado derecho la palabra “VERDADERO” son considerados un valor atípico el cual va a generar ruido al momento de realizar la simulación y son excluidos para seguir al proceso de modelado.

La misma acción se realizó a los demás parámetros para determinar datos atípicos.

4.4. Aplicación Del Reactor Flujo Tapón (PFR) A Los Parámetros Analizados

Para los cálculos correspondientes a los parámetros de Nitratos, Fosfatos, DQO, DBO₅ y Sólidos Suspendidos se utilizó la velocidad de reacción de primer orden con la siguiente ecuación:

$$\ln \left(\frac{C_f}{C_o} \right) = -k \frac{x}{v} \quad \text{Ecuación 5.}$$

Dónde:

- C_f =Concentración final [mg/L]
- C_o =Concentración inicial [mg/L]
- k = Constante de reacción [s^{-1}]
- x = distancia [km]
- v = velocidad [m/s]

Para determinar el tiempo de recorrido de punto de muestreo a punto de muestreo se utilizó una pelota, en la cual una persona se colocó en la parte inicial y la segunda persona en el punto siguiente y con la ayuda de cronómetro se determinó el tiempo de llegada del objeto, dándonos los siguientes valores:

Tabla 8.

Tiempo entre distancias

Punto muestreo	Tiempo [min]	Tiempo acumulado [min]
1	0,00	0,00
2	1,00	1,0
3	0,10	1,10
4	1,20	2,30
5	0,10	2,40
6	0,90	3,30
7	1,10	4,40
8	2,00	6,40
9	1,70	8,10
10	4,00	12,10
11	1,50	13,60
12	0,18	13,78
13	3,00	16,78
14	4,20	20,98
15	4,10	25,08
16	6,00	31,08

Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

En base a la **Ecuación 5**, se debe conocer los valores de Cf , para validar el proceso de simulado con el 20 % de los datos medidos y se determinará la capacidad de autodepuración de la acequia Pumamaqui.

Dádonos la siguiente ecuación:

$$Cf = Coe^{-k_v^x} \quad \text{Ecuación 6.}$$

4.4.1. Determinación De La Auto-Depuración De La DQO Mediante PFR

Se procede a determinar el valor de k mediante la regresión del 80% de los valores medidos entre la distancia y el $\ln[Co]$

Tabla 9.

80 % de los Valores de DQO

x [km]	Concentración inicial [Co]	Ln[Co]
0	25,6	3,24259235
0	27,2	3,30321697
0,17	22,2	3,10009229
0,17	33,4	3,5085559
0,34	25,3	3,2308044
0,34	22,1	3,09557761
0,34	31,4	3,44680789
0,34	37,8	3,6323091
0,44	25,3	3,2308044
0,44	21,6	3,07269331
0,44	30,2	3,40784192
0,44	37,2	3,61630876
0,71	22,7	3,12236492
0,71	21,4	3,06339092
0,71	29,2	3,37416871
0,71	37	3,61091791
0,85	21	3,04452244
0,85	21,2	3,05400118
0,85	29,2	3,37416871
0,85	36,9	3,60821155
1,04	20,2	3,0056826
1,04	21,2	3,05400118
1,04	28	3,33220451

x [km]	Concentración inicial [Co]	Ln[Co]
1,04	35,3	3,56388296
1,79	20,1	3,00071982
1,79	21,2	3,05400118
1,79	27	3,29583687
1,79	34,2	3,53222564
2,48	19,3	2,9601051
2,48	20,7	3,0301337
2,48	27	3,29583687
2,48	33,1	3,49953328
4,06	18,4	2,91235066
4,06	20,6	3,02529108
4,06	27	3,29583687
4,06	33	3,49650756
4,4	17,8	2,87919846
4,4	20,3	3,01062089
4,4	25,4	3,23474917
4,4	27,2	3,30321697
4,89	17,8	2,87919846
4,89	20	2,99573227
4,89	25	3,21887582
4,89	22,1	3,09557761
6,1	16,7	2,81540872
6,1	19,4	2,96527307
6,1	24,8	3,21084365
6,1	22	3,09104245
7,87	16,4	2,79728133
7,87	19,3	2,9601051
7,87	23,2	3,14415228
7,87	20,7	3,0301337
9,57	15,9	2,76631911

x [km]	Concentración inicial [Co]	Ln[Co]
9,57	16,3	2,79116511
9,57	21,6	3,07269331
9,57	20,2	3,0056826
12	15,8	2,76000994
12	14,8	2,69462718
12	20,8	3,03495299
12	16,4	2,79728133

Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

Dándonos como valor de k :

$$k = -0,04283686$$

Una vez determinado el valor de k se procede a validar la simulación con el 20 % de los valores restantes mediante la **Ecuación 6**, dándonos lo siguiente:

$$Cf = Coe^{-k\frac{x}{v}}$$

$$Cf = 26,4e^{-(0,04283686*0,34)*(0,17/0,34)}$$

$$Cf = 26,2084465$$

Obteniendo la siguiente tabla:

Tabla 10. Valores medidos vs Valores simulados [DQO]

x [km]	Concentración medida	Concentración Simulada
0,17	25,6	26,2084465
0,34	19,6	26,0182829
0,44	19	25,9070671

x [km]	Concentración medida	Concentración Simulada
0,71	18,5	25,6091533
0,85	18,2	25,4560307
1,04	17,8	25,2496849
1,79	17,4	24,4513647
2,48	16,6	23,7392215
4,06	16,6	22,185665
4,4	16,2	21,8648828
4,89	15,8	21,4107207
6,1	14,9	20,3292181
7,87	14,6	18,8448171
9,57	13,8	17,5212645
12	12,6	15,7891294

Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

4.4.2. *Determinación De La Auto-Depuración De La DBO₅ Mediante PFR*

Se procede a determinar el valor de k mediante la regresión del 80% de los valores medidos entre la distancia y el $\ln[Co]$

Tabla 11.

80 % de los Valores de DBO₅

x [km]	Concentración inicial [Co]	Ln[Co]
0	2,07	0,7275486
0	2,95	1,0818052
0	1,72	0,5423243
0	2,07	0,7275486
0,17	1,51	0,4121097
0,17	2,56	0,9400073
0,17	1,6	0,4700036
0,17	1,74	0,5538851

x [km]	Concentración inicial [Co]	Ln[Co]
0,34	1,43	0,3576744
0,34	2,23	0,8020016
0,34	1,06	0,0582689
0,34	1,67	0,5128236
0,44	1,41	0,3435897
0,44	1,92	0,6523252
0,44	1,02	0,0198026
0,44	1,67	0,5128236
0,71	1,4	0,3364722
0,71	1,67	0,5128236
0,71	1,01	0,0099503
0,71	1,66	0,5068176
0,85	1,36	0,3074847
0,85	1,63	0,48858
0,85	0,93	-0,072571
0,85	1,57	0,4510756
1,04	1,36	0,3074847
1,04	1,41	0,3435897
1,04	0,92	-0,083382
1,04	1,39	0,3293037
1,79	1,29	0,2546422
1,79	1,34	0,2926696
1,79	0,84	-0,174353
1,79	1,33	0,2851789
2,48	0,99	-0,01005
2,48	1,22	0,1988509
2,48	0,72	-0,328504
2,48	1,3	0,2623643
4,06	0,9	-0,105361
4,06	1,12	0,1133287

x [km]	Concentración inicial [Co]	Ln[Co]
4,06	0,7	-0,356675
4,06	1,27	0,2390169
4,4	0,79	-0,235722
4,4	1,02	0,0198026
4,4	0,63	-0,462035
4,4	1,04	0,0392207
4,89	0,62	-0,478036
4,89	0,69	-0,371064
4,89	0,53	-0,634878
4,89	1,03	0,0295588
6,1	0,58	-0,544727
6,1	0,66	-0,415515
6,1	0,49	-0,71335
6,1	0,93	-0,072571
7,87	0,57	-0,562119
7,87	0,53	-0,634878
7,87	0,41	-0,891598
7,87	0,49	-0,71335
9,57	0,27	-1,309333
9,57	0,43	-0,84397
9,57	0,36	-1,021651
9,57	0,37	-0,994252
12	0,21	-1,560648
12	0,35	-1,049822
12	0,29	-1,237874
12	0,05	-2,995732

Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

Dádonos como valor de k :

$$k = -0,17267147$$

Una vez determinado el valor de k se procede a validar la simulación con el 20 % de los valores restantes mediante la **Ecuación 6**, dádonos lo siguiente:

$$Cf = C_0 e^{-k \frac{x}{v}}$$

$$Cf = 2,2025 e^{-(0,17267147 * 0,34) * (0/0,34)}$$

$$Cf = 2,202$$

Obteniendo la siguiente tabla:

Tabla 12.

Valores medidos vs Valores simulados [DBO₅]

x [km]	Concentración medida	Concentración Simulada
0	0,85	2,2025
0,17	0,57	2,13878718
0,34	0,87	2,07691741
0,44	1,24	2,04136282
0,71	0,84	1,94837625
0,85	0,96	1,90184093
1,04	0,8	1,84045855
1,79	0,76	1,61690067
2,48	0,7	1,43529131
4,06	0,65	1,09258551
4,4	0,61	1,03028824
4,89	0,58	0,94670248

x [km]	Concentración medida	Concentración Simulada
6,1	0,57	0,76820175
7,87	0,47	0,56590368
9,57	0,4	0,42194813
12	0,32	0,2773529

Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

4.4.3. *Determinación De La Auto-Depuración De Sólidos Suspendidos Mediante PFR*

Se procede a determinar el valor de k mediante la regresión del 80% de los valores medidos entre la distancia y el $\ln[Co]$.

Tabla 13.

80 % de los Valores Sólidos Suspendidos

x [km]	Concentración inicial	Ln de la Concentración Inicial
0	2100	7,6496926
0	1500	7,3132204
0	3100	8,0391574
0	5500	8,6125034
0,17	1500	7,3132204
0,17	1500	7,3132204
0,17	2500	7,824046
0,17	2500	7,824046
0,34	1200	7,0900768
0,34	1400	7,2442275
0,34	2400	7,783224
0,34	2300	7,7406644
0,44	1100	7,0030655
0,44	1300	7,1701195

x [km]	Concentración inicial	Ln de la Concentración Inicial
0,44	2300	7,7406644
0,44	2300	7,7406644
0,71	1100	7,0030655
0,71	1200	7,0900768
0,71	2300	7,7406644
0,71	2100	7,6496926
0,85	1000	6,9077553
0,85	1200	7,0900768
0,85	2000	7,6009025
0,85	1800	7,4955419
1,04	900	6,8023948
1,04	1200	7,0900768
1,04	2000	7,6009025
1,04	1600	7,3777589
1,79	800	6,6846117
1,79	1000	6,9077553
1,79	1900	7,5496092
1,79	1600	7,3777589
2,48	800	6,6846117
2,48	1000	6,9077553
2,48	1900	7,5496092
2,48	1500	7,3132204
4,06	700	6,5510803
4,06	1000	6,9077553
4,06	1700	7,4383835
4,06	1500	7,3132204
4,4	600	6,3969297
4,4	1000	6,9077553
4,4	1700	7,4383835

x [km]	Concentración inicial	Ln de la Concentración Inicial
4,4	1200	7,0900768
4,89	600	6,3969297
4,89	900	6,8023948
4,89	1500	7,3132204
4,89	1000	6,9077553
6,1	600	6,3969297
6,1	800	6,6846117
6,1	1500	7,3132204
6,1	1000	6,9077553
7,87	500	6,2146081
7,87	800	6,6846117
7,87	1200	7,0900768
7,87	900	6,8023948
9,57	500	6,2146081
9,57	600	6,3969297
9,57	1100	7,0030655
9,57	300	5,7037825
12	400	5,9914645
12	600	6,3969297
12	1000	6,9077553
12	200	5,2983174

Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

Dádonos como valor de k :

$$k = -0,11568392$$

Una vez determinado el valor de k se procede a validar la simulación con el 20 % de los valores restantes mediante la **Ecuación 6**, dádonos lo siguiente:

$$Cf = Coe^{-k\frac{x}{v}}$$

$$Cf = 2620e^{-(0,11568392*0,34)*(0/0,34)}$$

$$Cf = 2620$$

Obteniendo la siguiente tabla:

Tabla 14.

Valores medidos vs Valores simulados [Sólidos Suspendidos]

x [km]	Concentración medida	Concentración Simulada
0	900	2620
0,17	1300	2568,97774
0,34	1300	2518,94909
0,44	1000	2489,9768
0,71	1200	2413,40529
0,85	1200	2374,63321
1,04	1100	2323,00833
1,79	1000	2129,9534
2,48	1000	1966,545
4,06	900	1638,03541
4,4	600	1574,85794
4,89	700	1488,06996
6,1	700	1293,69492
7,87	600	1054,1575
9,57	400	865,956332
12	800	653,748393

Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

4.4.4. Determinación De La Auto-Depuración De Los Nitratos Mediante PFR

Se procede a determinar el valor de k mediante la regresión del 80% de los valores medidos entre la distancia y el $\ln[Co]$

Tabla 15.

80 % de los Valores de Nitratos

x [km]	Concentración inicial [Co]	Ln[Co]
0	3,5	1,25276297
0	1,7	0,53062825
0	2,2	0,78845736
0	1,9	0,64185389
0,17	2,1	0,74193734
0,17	1,6	0,47000363
0,17	1,8	0,58778666
0,17	1,8	0,58778666
0,34	1,8	0,58778666
0,34	1,6	0,47000363
0,34	1,7	0,53062825
0,34	1,6	0,47000363
0,44	1,8	0,58778666
0,44	1,5	0,40546511
0,44	1,6	0,47000363
0,44	1,6	0,47000363
0,71	1,8	0,58778666
0,71	1,4	0,33647224
0,71	1,5	0,40546511
0,71	1,4	0,33647224
0,85	1,8	0,58778666
0,85	1,3	0,26236426
0,85	1,4	0,33647224

x [km]	Concentración inicial [Co]	Ln[Co]
0,85	1,4	0,33647224
1,04	1,7	0,53062825
1,04	1,2	0,18232156
1,04	1,4	0,33647224
1,04	1,4	0,33647224
1,79	1,6	0,47000363
1,79	1,2	0,18232156
1,79	1,3	0,26236426
1,79	1,4	0,33647224
2,48	1,6	0,47000363
2,48	1,2	0,18232156
2,48	1,2	0,18232156
2,48	1,2	0,18232156
4,06	1,5	0,40546511
4,06	1,1	0,09531018
4,06	1,1	0,09531018
4,06	1,2	0,18232156
4,4	1	0
4,4	1	0
4,4	1	0
4,4	1,1	0,09531018
4,89	1	0
4,89	1	0
4,89	1	0
4,89	1,1	0,09531018
6,1	0,96	-0,04082199
6,1	1	0
6,1	1	0
6,1	1	0
7,87	0,86	-0,15082289

x [km]	Concentración inicial [Co]	Ln[Co]
7,87	0,8	-0,22314355
7,87	0,8	-0,22314355
7,87	1	0
9,57	0,83	-0,18632958
9,57	0,76	-0,27443685
9,57	0,8	-0,22314355
9,57	0,9	-0,10536052
12	0,74	-0,30110509
12	0,69	-0,37106368
12	0,7	-0,35667494
12	0,8	-0,22314355

Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

Dándonos como valor de k :

$$k = -0,0791259$$

Una vez determinado el valor de k se procede a validar la simulación con el 20 % de los valores restantes mediante la **Ecuación 6**, dándonos lo siguiente:

$$Cf = Coe^{-k\frac{x}{v}}$$

$$Cf = 2,28e^{-(0,0791259*0,34)}*(0/0,34)$$

$$Cf = 2,28$$

Obteniendo la siguiente tabla:

Tabla 16.*Valores medidos vs Valores simulados [Nitratos]*

x [km]	Concentración medida	Concentración Simulada
0	1,8	2,28
0,17	1,8	2,24953615
0,34	1,7	2,21947934
0,44	2,1	2,20198681
0,71	1,4	2,15544253
0,85	1,7	2,13169711
1,04	1,6	2,09988904
1,79	1,6	1,97889792
2,48	1,6	1,8737527
4,06	1,6	1,65354966
4,4	1,4	1,6096576
4,89	1	1,54844282
6,1	1,1	1,40706708
7,87	1,2	1,22318072
9,57	0,9	1,06923194
12	1,2	0,882201

Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)**4.4.5. Determinación De La Auto-Depuración De Los Fosfatos Mediante PFR**

Se procede a determinar el valor de k mediante la regresión del 80% de los valores medidos entre la distancia y el $\ln[Co]$.

Tabla 17.*80 % de los Valores de Fosfatos*

x [km]	Concentración inicial [Co]	Ln[Co]
0	0,72	-0,32850407
0	1,5	0,40546511
0	0,84	-0,17435339
0,17	0,59	-0,52763274
0,17	0,67	-0,40047757
0,17	0,55	-0,597837
0,17	0,56	-0,5798185
0,34	0,55	-0,597837
0,34	0,61	-0,49429632
0,34	0,55	-0,597837
0,34	0,54	-0,61618614
0,44	0,52	-0,65392647
0,44	0,6	-0,51082562
0,44	0,53	-0,63487827
0,44	0,48	-0,73396918
0,71	0,45	-0,7985077
0,71	0,57	-0,56211892
0,71	0,45	-0,7985077
0,71	0,44	-0,82098055
0,85	0,39	-0,94160854
0,85	0,45	-0,7985077
0,85	0,45	-0,7985077
0,85	0,38	-0,96758403
1,04	0,34	-1,07880966
1,04	0,44	-0,82098055
1,04	0,39	-0,94160854
1,04	0,34	-1,07880966

x [km]	Concentración inicial [Co]	Ln[Co]
1,79	0,33	-1,10866262
1,79	0,44	-0,82098055
1,79	0,35	-1,04982212
1,79	0,32	-1,13943428
2,48	0,27	-1,30933332
2,48	0,38	-0,96758403
2,48	0,33	-1,10866262
2,48	0,26	-1,34707365
4,06	0,26	-1,34707365
4,06	0,25	-1,38629436
4,06	0,32	-1,13943428
4,06	0,26	-1,34707365
4,4	0,24	-1,42711636
4,4	0,17	-1,77195684
4,4	0,32	-1,13943428
4,4	0,22	-1,51412773
4,89	0,22	-1,51412773
4,89	0,15	-1,89711998
4,89	0,31	-1,17118298
4,89	0,21	-1,56064775
6,1	0,15	-1,89711998
6,1	0,12	-2,12026354
6,1	0,3	-1,2039728
6,1	0,21	-1,56064775
7,87	0,15	-1,89711998
7,87	0,11	-2,20727491
7,87	0,26	-1,34707365
7,87	0,14	-1,96611286
9,57	0,12	-2,12026354
9,57	0,08	-2,52572864

x [km]	Concentración inicial [Co]	Ln[Co]
9,57	0,25	-1,38629436
9,57	0,12	-2,12026354
12	0,1	-2,30258509
12	0,03	-3,5065579
12	0,24	-1,42711636
12	0,06	-2,81341072

Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

Dádonos como valor de k :

$$k = -0,16378439$$

Una vez determinado el valor de k se procede a validar la simulación con el 20 % de los valores restantes mediante la **Ecuación 6**, dádonos lo siguiente:

$$Cf = Coe^{-k\frac{x}{v}}$$

$$Cf = 1,02e^{-(0,16378439*0,34)*(0/0,34)}$$

$$Cf = 1,02$$

Obteniendo la siguiente tabla:

Tabla 18.*Valores medidos vs Valores simulados [Fosfatos]*

x [km]	Concentración medida	Concentración Simulada
0	0,59	1,02
0,17	0,53	0,99199152
0,34	0,37	0,96475214
0,44	0,36	0,9490797
0,71	0,33	0,90802416
0,85	0,27	0,88744023
1,04	0,26	0,86024922
1,79	0,26	0,76081015
2,48	0,26	0,67951045
4,06	0,25	0,52457756
4,4	0,22	0,49616404
4,89	0,21	0,45790065
6,1	0,19	0,37558061
7,87	0,19	0,28106185
9,57	0,17	0,21275501
12	0,14	0,14290002

Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)**4.5. Aplicación del Software Qual2K**

El modelo Qual2K trabaja en base a que el flujo entrante y saliente en cada uno de los elementos en análisis va a mantenerse constante a través del tiempo, es decir en un estado estacionario. Este modelo considera variables tales como el transporte de componentes presentes en el flujo de agua como la dispersión, difusión y advección de componentes, también toma en cuenta descargas puntuales captaciones, es decir pérdidas o generación de nutrientes (Corporación Autónoma Regional de Nariño, 2011).

Este software trabaja con la siguiente ecuación para poder modelar lo que el usuario requiera:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial(A_x D_L \partial C / \partial x)}{\partial x} d_x - \frac{\partial(A_x u C)}{\partial x} d_x + \frac{(A_x d_x) dC}{dt} + Si \quad \textbf{Ecuación 7.}$$

En donde,

- M = masa
- x = distancia
- t = tiempo
- C = concentración
- u = velocidad media
- D_L = coeficiente de dispersión
- Si = fuentes o sumideros

En cuanto a las entradas que requiere este modelo con el fin de devolver información más confiable se basa principalmente a las características físicas e hidráulicas del flujo de agua, en la cual nos va a requerir parámetros de caudal, velocidad media, por otra parte en cuanto a parámetros físicos, químicos y/o biológicos nos solicita la entrada de valores como la DBO, Nitratos, Sólidos Suspendidos, etc. como se puede visualizar en la siguiente figura:

Figura 6.

Modelamiento mediante Software Qual2K

<div>QUAL2K</div> <div>Stream Water Quality Model</div> <div>Acequia Pumamaqui (25-02-2020)</div> <div>Point Source Data:</div> <div>Run Fortran</div> <div>Open Old File</div>												
No.	Distance km	Suspended Solids		Dissolved Oxygen		BOD		Nitrate + Nitrite N		Phosphates		time of mor
		mean mg/L	range/2 mg/L	mean mg/L	range/2 mg/L	mean mgO2/L	range/2 mgO2/L	mean ug/L	range/2 ug/L	mean ugP/L	range/2 ugP/L	
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												

Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

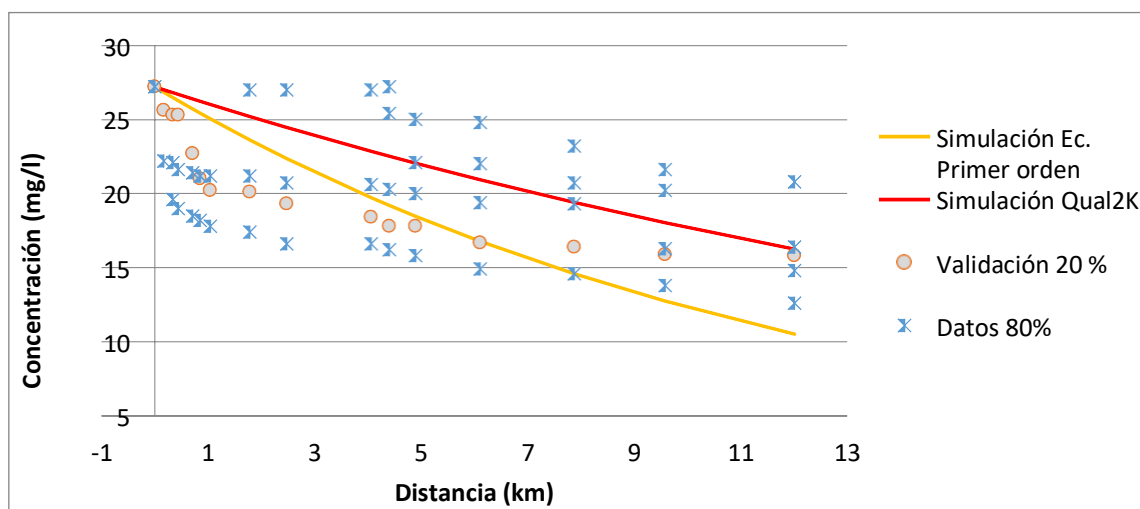
La acequia Pumamaqui indica una variabilidad en su composición físico-química con respecto a las muestras tomadas del sitio de estudio, es por eso que se modeló de manera muy cautelosa cada uno de los datos obtenidos en los días de muestreo.

Una vez determinados todos los parámetros, éstos fueron evaluados mediante análisis estadísticos básicos y los datos finales de dichos parámetros de condición de agua se sometieron a la ecuación cinética de primer orden, para modelar la autodepuración de la acequia Pumamaqui en cada uno de los parámetros.

Con respecto al análisis de DQO, los valores de la DQO son mayores que los de la DBO, debido a que el oxidante químico es capaz de reaccionar con sustancias de difícil biodegradación para los microorganismos. Es por eso que en la gráfica se puede visualizar como va disminuyendo la concentración en cuanto a la distancia que la acequia recorre, es decir, que la contaminación disminuye a medida que recorre la acequia.

Gráfica 1.

Autodepuración de la acequia con respecto al parámetro de DQO



Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

Comparando nuestro coeficiente de correlación obtenido que es de 68,19 % con el valor obtenido de (Vizuite, 2013) correspondiente al 75,4 % y también (Chinyama, Ncube, & Ela, 2016) con un valor de 72,3 %, con estos datos mencionados se puede decir que nuestro proceso de modelado de autodepuración para la DQO ha sido eficiente.

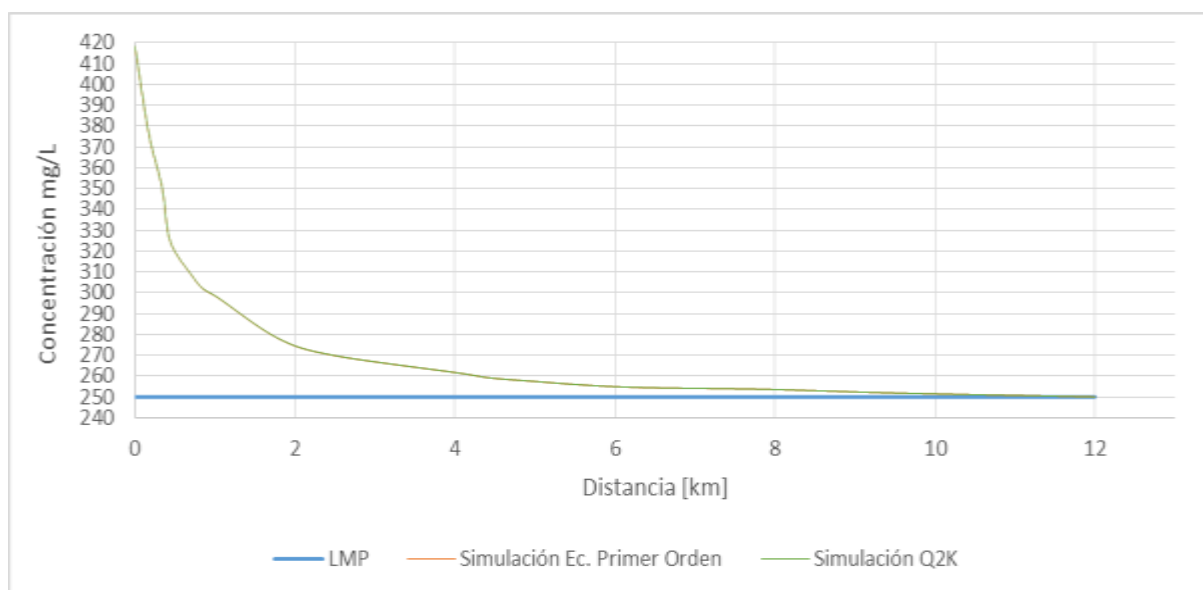
El porcentaje de autodepuración de la acequia de los sólidos con respecto a la DQO con el Software Qual2K se obtiene un modelo predictivo mejor al inicial con un coeficiente de $R^2 = 76,84$ %, comparando con otros estudios (Vizuite, 2013) que tienen un valor de 75,4 %; esto quiere decir que la modelación realizada es correcta para la autodepuración de la acequia con respecto a los datos reales de los modelados en el parámetro de DQO.

Por otra parte con respecto a la carga máxima contaminante que puede soportar la acequia, hemos tomado como base el límite máximo permisible de 250 mg O₂/L como menciona en Anexo 1 del (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, 2015), sin embargo este valor no es considerado como valor máximo que podría soportar la acequia debido que al superar este límite cambiarían las propiedades fisicoquímicas del agua, es por eso que se estableció la carga máxima que puede llegar a soportar mediante la modelación con la ecuación de primer orden dándonos un valor de 418 mg/L a diferencia de la modelación con el software Qual2K con un valor de 418,45 mg/L.

Esto debido que al inicio del análisis de la DQO el valor debería ser superior a la norma lo cual se puede visualizar en la siguiente gráfica, concluyendo que a medida que la acequia avanza su curso natural va disminuyendo su concentración.

Gráfica 2.

Carga máxima permisible para DQO



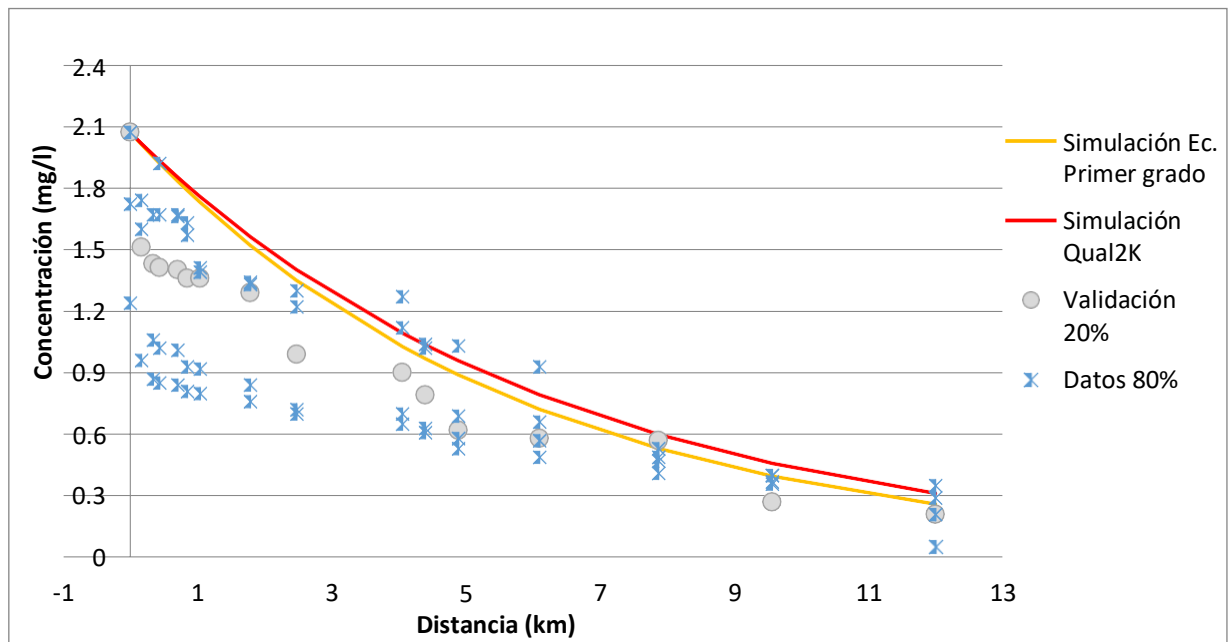
Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

A diferencia de la DQO, la DBO_5 también tiene interés, debido a que el coeficiente de los valores de DBO y DQO, señalan el tipo de contaminante del flujo de agua. Es decir, un coeficiente DBO/DQO inferior a 0,2 nos determina un vertido de origen inorgánico como por ejemplo de aguas residuales industriales, mientras que el coeficiente DBO/DQO es superior a 0,6 el vertido corresponderá al tipo orgánico siendo probable por las aguas residuales urbanas, restos de ganado o industria alimenticia. (Cantuña, 2017).

Es por eso que en la gráfica se puede determinar que los valores de DBO_5 presentan una clara tendencia a disminuir. Esto se debe, probablemente a la digestión anaerobia de la materia sedimentada, es decir, putrefacción de la materia orgánica con la intervención de organismos vivos heterotróficos que se encuentra presente en el agua de la acequia Pumamaqui.

Gráfica 3.

Autodepuración de la acequia con respecto al parámetro de DBO₅



Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

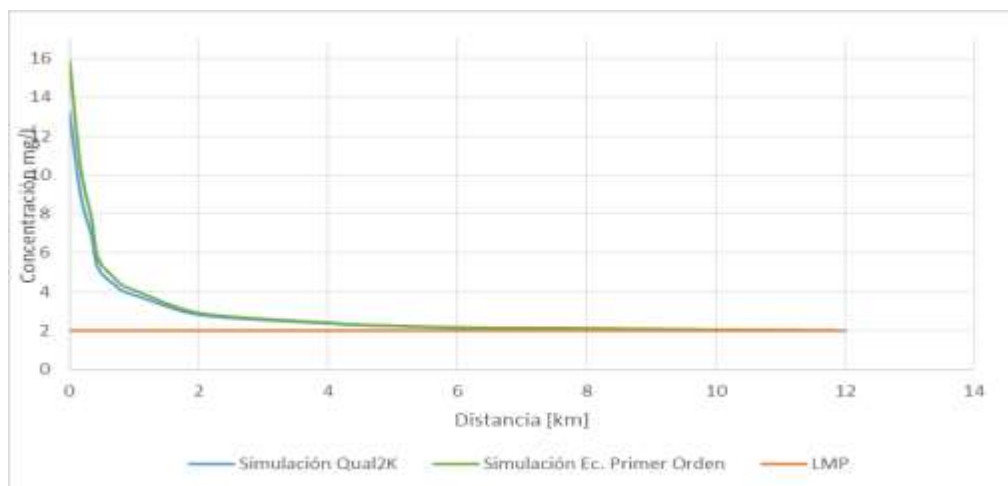
Comparando con el siguiente caso de estudio de (Vizuite, 2013), presenta un coeficiente de correlación con un grado de significancia al 5 % es de 75,4 %, por otro lado (Pazmiño, Zambrano, & Coello, 2018) presentan un 75,0 % de valor de autodepuración en sus estudio con respecto a la DBO₅, en base a estos estudios podemos decir que nuestro proceso de modelado es eficiente con respecto al parámetro de DBO₅ ya que se obtuvo un valor de 65,42 %.

El porcentaje de autodepuración de la acequia del parámetro DBO₅ con el Software Qual2K se obtiene un modelo predictivo mejor al inicial con un coeficiente de $R^2 = 92,88$ %, comparando con otros estudios (Vizuite, 2013) que tienen un valor de 87,4 %; esto quiere decir que la modelación realizada es correcta para la autodepuración de la acequia con respecto a los datos reales.

En base a lo que menciona sobre el parámetro de DBO_5 , Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (2015). “El límite máximo permisible en el recurso hídrico corresponde a los 2 mg/L”. Simulando los valores con la ecuación de primer orden nos da un valor de 15,88 mg/L y para validar este valor se lo realizó en el software Qual2K en el que el valor fue de 13,22 mg/L, lo cual se puede visualizar en la siguiente gráfica:

Gráfica 4.

Carga máxima permisible para DBO_5



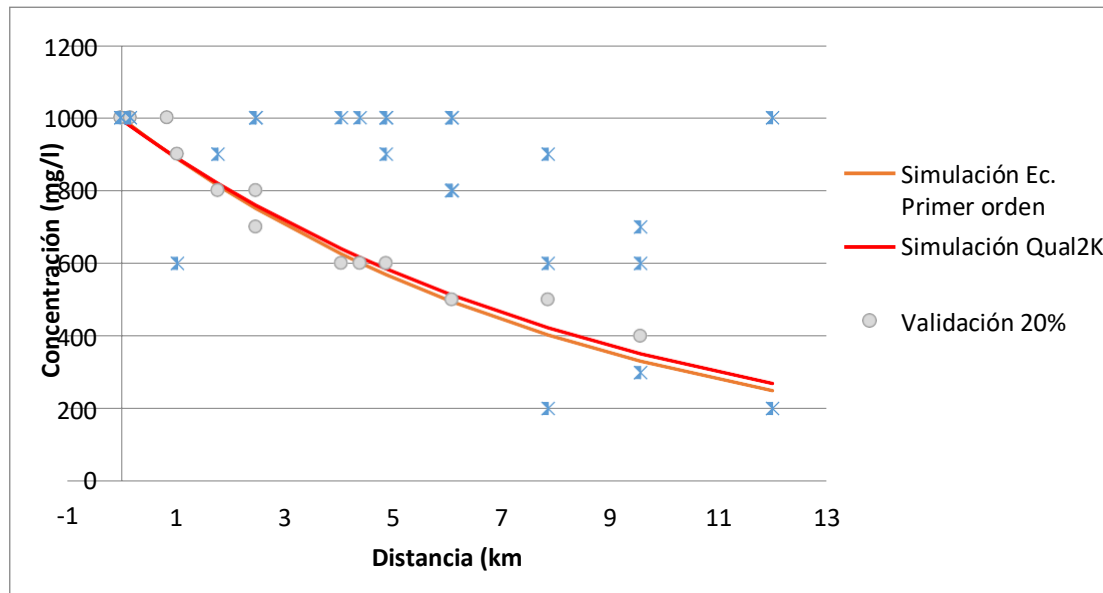
Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

En cuanto a los valores que se presentan el muestreo sobre la presencia de Sólidos Suspendidos es variada ya que cambia según punto de muestreo y el día, es decir que los días uno, tres y cuatro donde existe un incremento de sólidos suspendidos a diferentes de los días dos y tres; esto se debe a que existía más caudal en la acequia, por ende arrastra más sólidos. Al ver los demás valores de aguas abajo, la acequia va disminuyendo la concentración de Sólidos Suspendidos Totales, los sólidos que son transportados por la acequia, son principalmente inorgánicos alcanzando concentraciones como se indica en la **Tabla 23**.

La materia inorgánica que es transportada por la acequia Pumamaqui, es captada en el punto uno, debido a la división del río La Chimba con la acequia Pumamaqui. Este aumento de Sólidos Suspendedos Totales (SST), se da debido a que se realizó el estudio en época invernal (Tierra Andina Ecuador, 2016), por eso es el incremento al inicio de la acequia, ya que transporta mayor carga de sólidos que repercute en la calidad del agua. A medida que baja el río los sólidos van disminuyendo en la acequia ya sea porque se van acumulando en las paredes de la acequia.

Gráfica 5.

Autodepuración de la acequia con respecto al parámetro de Sólidos Suspendedos



Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

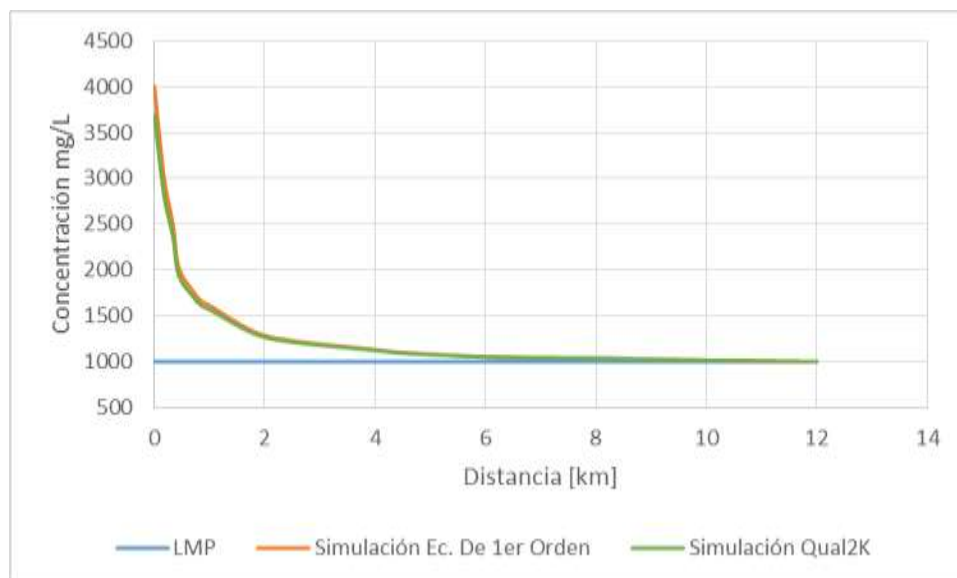
El porcentaje de autodepuración de la acequia con respecto a los sólidos suspendidos es del 68,43 %, comparando con otros estudios que tienen un valor de 70,0 % como es el caso en el que menciona (Chinyama, Ncube, & Ela, 2016); esto quiere decir que la modelación realizada es correcta para la autodepuración de la acequia con respecto a los datos reales de los modelados en los sólidos suspendidos.

El porcentaje de autodepuración de la acequia de los sólidos suspendidos con el Software Qual2K se obtiene un modelo predictivo mejor al inicial con un coeficiente de $R^2 = 85,32 \%$, comparando con otros estudios (Vizuite, 2013) que tienen un valor de $87,4 \%$; esto quiere decir que la modelación realizada es correcta para la autodepuración de la acequia con respecto a los datos reales de los modelados en los sólidos suspendidos.

En base al Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (2015). “El límite máximo permisible para el parámetro de sólidos suspendidos es de 1000 mg/L ”. Sin embargo para determinar la carga máxima que puede llegar a soportar la acequia mediante la ecuación de primer orden es de $4007,66 \text{ mg/L}$ y comparando con el valor del software que nos da un valor de $3696,11 \text{ mg/L}$, debido a que la concentración al inicio del análisis debe ser superior a la norma y a medida que sigue el recorrido la acequia este disminuye, como se visualiza en la gráfica:

Gráfica 6.

Carga máxima para Sólidos Suspendidos



Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

El análisis de los nitratos, en las zonas que se practica agricultura y ganadería se emplea enormes cantidades de abonos químicos, además a esto se le suma los abonos naturales que proceden de los excrementos animales (Palomares, 2005-2015).

“Los principales encargados de la autodepuración son los hongos y bacterias ya que estos descomponen la materia orgánica convirtiéndola en materia inorgánica” (UM.ES/Sabio, 2014)

Sin embargo en la gráfica se puede visualizar como va disminuyendo la concentración real de nitratos a medida que va acercándose a la población, es decir que las actividades de agricultura y ganadería disminuyen cerca de la acequia. En la Gráfica 7, se observa los puntos de medición ante el desarrollo del estudio frente a parámetro, dando resultados con picos respecto al punto de toma de muestra, aun así, siendo un nivel permisible respecto a las concentraciones máximas registradas por el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (2015), esto se da principalmente por el usos excesivo de abonos químicos o por aguas lluvia. El valor de R^2 presente en la acequia de nitratos, como se muestra en la **Gráfica 7.**, es de 68,38%, nos quiere decir que existe una autodepuración de la acequia Pumamaqui, este valor obtenido es aceptado ya que se comparó con otros estudios como (Vargas & Maldonado, 2019).

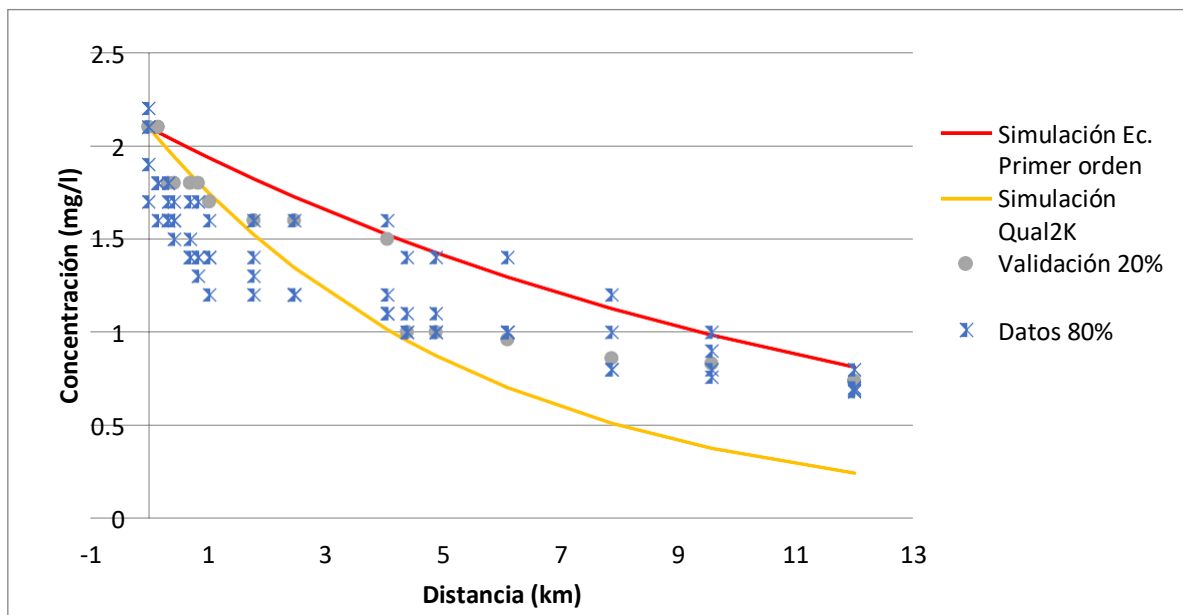
Con el Software Qual2K se obtiene un modelo predictivo mejor al inicial con un coeficiente de $R^2 = 93,85 \%$ nos quiere decir que existe una autodepuración de la acequia, este valor es aceptado ya que se comparó con diferentes estudios como (Duque, Heras, Lojano , & Vilorio, 2018) que determinaron una autodepuración del 93,3 % para nitratos.

Los resultados obtenidos, se obtienen a escalas adecuadas, por ende aumentan el crecimiento de las plantaciones, incrementando su utilidad y rendimiento; obteniendo una

mejor tendencia en el resultado del modelo de la **Gráfica 7**. Indicando que las aguas analizadas de la acequia Pumamaqui no están contaminadas por nitratos.

Gráfica 7.

Autodepuración de la acequia con respecto al parámetro de Nitratos.

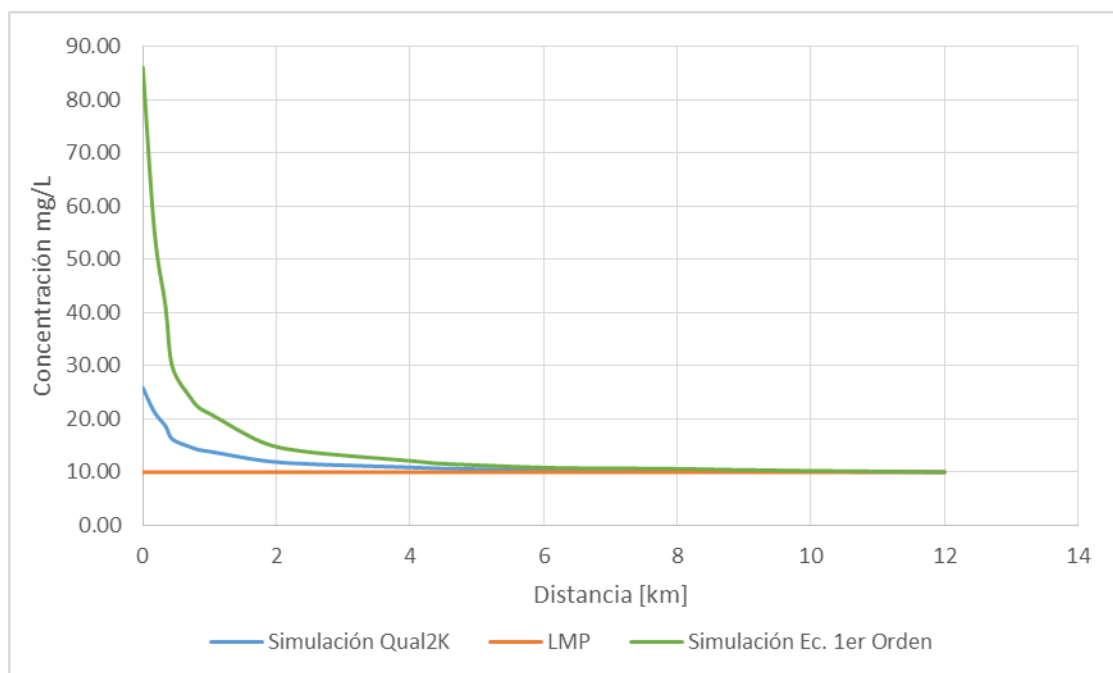


Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

Tomando en cuenta lo establecido en el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (2015). “De acuerdo al límite máximo permisible para el parámetro de nitratos es de 10 mg/L”. Es por eso que se mediante la ecuación de primer orden y el software Qual2K nos dieron valores de 86,13 mg/L y 25,84 mg/L, respectivamente.

Gráfica 8.

Carga máxima para Nitratos



Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

En cuanto a los Fosfatos:

La elevada solubilidad que posee este parámetro provoca que sean arrastrados fácilmente a través de la acequia, otras concentraciones provienen naturalmente de suelo, como el estiércol y otros tipos de materia orgánica de desechos agrícolas. Estos residuos son arrastrados y arrojados no solo a las acequias sino también a lagos, ríos y canales establecen un difícil problema ambiental. (Bolaños, Cordero, & Segura, 2017, págs. 24-25)

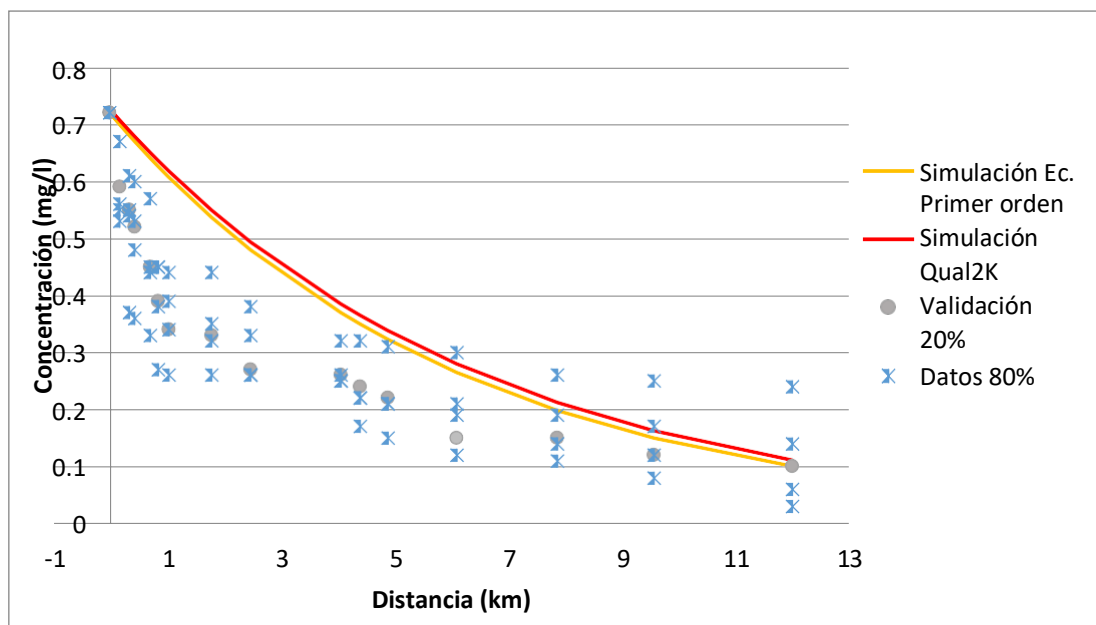
Como se puede observar en la **Gráfica 9.**, los fosfatos muestran una disminución de contenido en las tomas del punto 3 al 7 respectivamente, seguido con un cambio de patrón, aumentando y disminuyendo en los siguientes puntos, sin contener alteraciones representativas en los niveles de entrada y salida (Vargas & Maldonado, 2019). Los

fosfatos disminuyen quizás no en una proporción alta, pero existe una autodepuración, y con un coeficiente R^2 de 66,38 % de los datos reales a comparación con el estudio de (Vizuite, 2013), que su coeficiente de correlación con un grado de significancia del 5 % de autodepuración es de 75,4 %.

Con el Software Qual2K se obtiene un modelo predictivo mejor al inicial con un coeficiente de $R^2 = 85,32$ %, existe una autodepuración de la acequia, los resultados de los datos reales obtenidos se comparó con otros estudios según (Vizuite, 2013) el coeficiente de correlación con un grado de significancia del 1 % de autodepuración es de 87,4 %.

Gráfica 9.

Autodepuración de la acequia con respecto al parámetro de Fosfatos



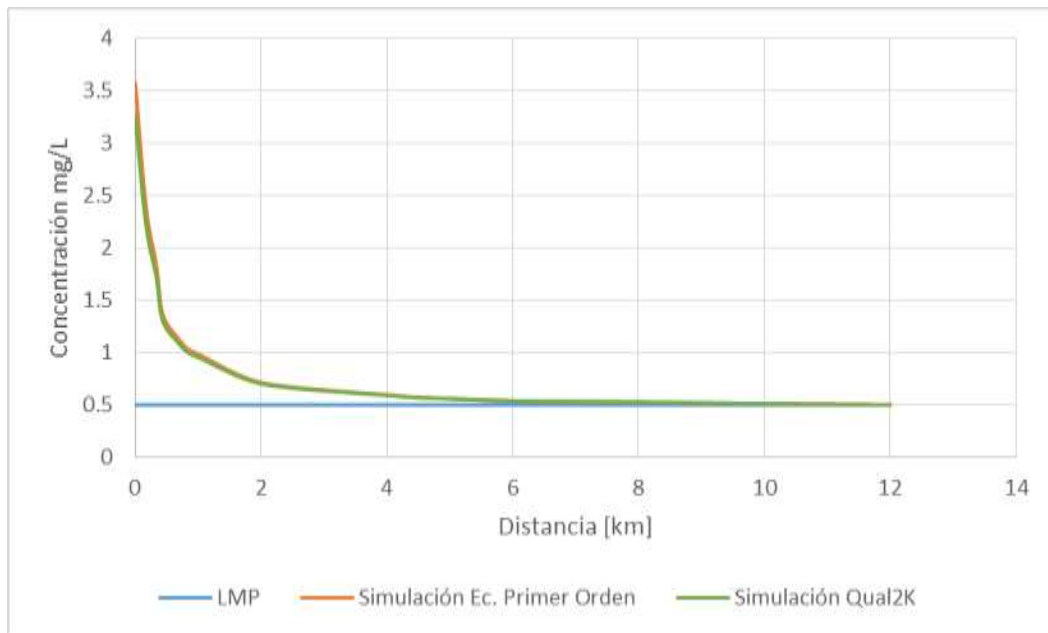
Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

Con respecto al parámetro de Fosfatos el límite máximo permisible es de 0,5 mg/L como establece (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, 2015), es por eso que este valor ha sido tomado en cuenta para determinar la carga máxima que

puede soportar la acequia, en el cual mediante las simulaciones por la ecuación de primer orden y el software Qual2K nos arrojó valores de 3,57 mg/L y 3,26 mg/L, como se muestra en la gráfica:

Gráfica 10.

Carga máxima con respecto a Fosfatos



Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

En base a los resultados modelados, la ley de velocidad de primer orden es un modelo predictivo que no necesita de varias variables a la vez para su modelamiento, como se puede observar en la **Ecuación 1**. A diferencia del software Qual2K que utiliza múltiples variables como nos indica la **Ecuación 7.**, el cual hace que el modelado sea más preciso.

El error que existe en cuanto a los primeros tramos de la acequia es el resultado a que los cálculos realizados en la ecuación de primer orden se los hizo tramo por tramo, más no se tomó en cuenta la topografía que presenta la acequia a lo largo de los 12 km.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

En base a los datos reales y modelados de los parámetros que determinan la calidad de agua (DQO, DBO₅, Sólidos Suspendidos, Nitratos, Fosfatos) para este trabajo de investigación se puede mencionar que las mediciones in situ fueron variables en los diferentes días de muestreo a diferencia de los datos obtenidos en laboratorio.

De los parámetros analizados y modelados por el programa Microsoft Excel mediante la ecuación de primer orden y el software Qual2k, el mejor parámetro predicho para el software Qual2K es el parámetro de Nitratos con un coeficiente R^2 de 66,38 %; y con el software un coeficiente $R^2 = 93,85$ %, y el más bajo entre los parámetros medidos y modelados es la Demanda Química de Oxígeno (DQO) con un coeficiente R^2 de 68,19 %; y con el software un coeficiente $R^2 = 76,84$ %. Sin embargo, con la ayuda del software Qual2K se pudo obtener un mejor modelado para los diferentes parámetros medidos, con mejores coeficientes a los obtenidos con los datos iniciales.

Con respecto a la capacidad máxima de carga contaminante de acuerdo a los parámetros medidos, se tomó como referencia los datos establecidos en el Anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (2015). De acuerdo a los límites máximos permisibles, para poder determinar las cargas máximas que puede soportar la acequia, en el cual nos muestra que mediante la ecuación de primer orden los valores son aceptados debido a que con la ayuda del software Qual2K, nos arrojaron valores similares a los obtenidos.

6.2. Recomendaciones

Para la determinación de sólidos suspendidos se debe manipular las cápsulas o crisoles con pinzas para evitar contaminación.

Para la lectura de los nitratos y fosfatos tener especial cuidado con la agitación de la muestra, la cual debe hacerse suavemente para procurar una mezcla homogénea del reactivo.

En cuanto a la determinación de DQO tener especial cuidado que no se contamine la prueba.

Para la DBO_5 , mantener sellados los frascos sean Winkler o Boeco durante el período de incubación.

En base al modelamiento, se debe buscar un software que se ajuste a lo que se necesita analizar.

Considerar todos los aspectos topográficos del lugar de estudio (pendiente, altitud, curvas de nivel, el área de canal, etc), para poder obtener un mejor resultado al momento de realizar la modelación.

7. BIBLIOGRAFÍA

- American Publish Health Association, American Water Works Association, Water Enviroment Federation. (2012). *Standar Methods for the examination of water and wastewater*. Washington D.C: Join Editorial Board.
- Arévalo, A., Ramón, A., & Ramón, J. (2015). Estimación cinética de los procesos biológico de lixiviados, a partir de un sistema experimental con humedales artificiales utilizando especies nativas. *Investigación Científica y Tecnológica*, 12.
- Azoulay, A. (2019). *Informe Mundial de Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hidricos 2019-No dejar a nadie atrás*. Paris: UNESCO.
- Carvajal, J., & Olives, M. J. (2019). *DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO PARA EL ESTUDIO DE LA CALIDAD DE AGUA DE LA ACEQUIA PUMAMAQUI*. Quito.
- CELEC. (s.f.). *Metodología para la toma de muestras de agua*. Obtenido de https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners_home/EIA/cap42_1_t_santo_domingo_esmeraldas.pdf
- Constitución de la República del Ecuador. (2008).
- Corporación Autónoma Regional de Nariño. (2011). *PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO QUEBRADA MIRAFLORES*. Recuperado el 02 de 2020, de <http://www.corponarino.gov.co/expedientes/descontaminacion/porhmirafloresp5.pdf>
- Fogler, H. (2008). *Elementos de Ingeniería de las Reacciones Químicas* (Cuarta Edición ed.). México: Pearson Educación.

- HANNA Instruments. (2019). *HANNA Instruments*. Obtenido de <https://hannainst.ec/productos/linea/analisis-de-agua/kit-quimico-de-pruebas-para-fosfato-2/>
- Hincapié, M., & Chaverra, G. (2015). *Diagnóstico de aguas: Manual de Laboratorio*. Bogotá-Colombia: Sello Editorial.
- Interconsulting Bureau S.L. (2017). *Calidad de aguas: Uso y aprovechamiento*. Málaga, España: ICB, S.L.
- Jiménez, A., & Barba, Á. (2000). Determinación de los parámetros físico-químicos de la calidad de las aguas.
- Levine, I. (2014). *Principios de Fisicoquímica*. Mexico: McGraw Hill Education.
- Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua. (2014). Quito.
- Martínez, A. (2017). *El derecho al agua en el Ecuador: Un análisis desde la Ciencia Política y el Derecho Público*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Matovelle, C. (2017). Modelo matemático de calidad de agua aplicado en la microcuenca del río Tabacay. *Killkana Técnica*, 39-48.
- Ministerio del Ambiente. (2014). *Ministerio del Ambiente*. Obtenido de http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/sites/default/files/GUIA_PARQUES_27-2014.pdf
- Minitab. (2019). *Statistics*. Recuperado el 02 de 2020, de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/data-concepts/identifying-outliers/>

- Montés, R., Navarro, I., Domínguez, R., & Jiménez, B. (2013). Modificación de la capacidad de autodepuración del Río Magdalena ante el Cambio Climático. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 71-83.
- NORMA TECNICA ECUATORIANA. (2013). Quito.
- NTE INEN 2169. Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras. (2013).
- NTE INEN 2169:98. Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras. (2013).
- NTE INEN 2176. Agua: Calidad del agua, muestreo y técnicas de muestreo. (2013).
- Quintín, M., Cabero, M. T., & De Paz, Y. (2008). *Tratamiento estadístico de datos con SPSS*. España: Thompson.
- Ramirez, Z., & Leal, M. (2013). *Condiciones particulares de descarga para el río Turbio, Guanajuato*. Obtenido de <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/42275/RamirezPortillaZaira.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Real Academia de Ingeniería. (2012). *Puntos de muestreo*. Obtenido de <http://diccionario.raing.es/es/lema/punto-de-muestreo>
- SENAGUA. (2010). *LINEA BASE PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA DH/GUAYAS*. Quito: SENAGUA.
- SENAGUA. (2010). *Secretaría Nacional del Agua. Obtenido de Informe de Gestión 2008-2010. Una gestión diferente de los Recursos Hídricos*.

Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2016). *Normalización*. Obtenido de <http://inennormalizacion.blogspot.com/2016/06/que-es-la-normalizacion.html>

Severiche-Sierra, C., & González, H. (2012). *Determinación de fosfatos en aguas por método colorimétrico. Validación del método*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/282979566_Determinacion_de_fosfatos_en_aguas_por_metodo_colorimetrico_Validacion_del_metodo

Sierra, C. A., Castillo, M., & Acevedo, R. (2013). Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas.

Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente. (2015).

UNE-EN 25813:1994. (s.f.). *Normativa Española*. Obtenido de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0011062>

UNE-EN 25814:1992. (2018). *Normativa Española*. Obtenido de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?Tipo=N&c=N0011063>




Universidad Politécnica Salesiana. (2018). *Plan de Mejoras de la acequia Pumamaqui de la Comunidad de Pesillo, Cantón Cayambe - Prov. de Pichincha*. Cayambe.

8. ANEXOS

Anexo A. Puntos de muestreo

Tabla 19.

Localización geográfica de los puntos de muestreo en coordenadas UTM (WGS84).

PUNTOS DE MUESTREO	
Comunidad: Pesillo	Sitio: Acequia Pumamaqui
	Punto de muestreo: PM001 COORDERNADAS UTM (WGS84) X: 829463.412E Y: 15708.322N
	Punto de muestreo: PM002 COORDERNADAS UTM (WGS84) X: 829333.073E Y: 15817.847N
	Punto de muestreo: PM003 COORDERNADAS UTM (WGS84) X: 829170.797E Y: 15860.704N

PUNTOS DE MUESTREO

Comunidad: **Pesillo**

Sitio: **Acequia Pumamaqui**



Punto de muestreo: PM004

COORDERNADAS UTM

(WGS84)

X: 829099.101E

Y: 15899.383N



Punto de muestreo: PM005

COORDERNADAS UTM

(WGS84)

X: 828852.548E

Y: 15981.002N



Punto de muestreo: PM006

COORDERNADAS UTM

(WGS84)

X: 828747.356E

Y: 16069.475N



Punto de muestreo: PM007

COORDERNADAS UTM

(WGS84)

X: 828583.974E

Y: 16125.946N

PUNTOS DE MUESTREO

Comunidad: **Pesillo**

Sitio: **Acequia Pumamaqui**



Punto de muestreo: PM008

COORDERNADAS UTM

(WGS84)

X: 827950.2E

Y: 16453.004N



Punto de muestreo: PM009

COORDERNADAS UTM

(WGS84)

X: 827408.535E

Y: 16223.744N



Punto de muestreo: PM010

COORDERNADAS UTM

(WGS84)

X: 827184.26E

Y: 17150.262N



Punto de muestreo: PM011

COORDERNADAS UTM

(WGS84)

X: 826901.927E

Y: 17317.897N

PUNTOS DE MUESTREO

Comunidad: **Pesillo**

Sitio: **Acequia Pumamaqui**

Punto de muestreo: PM012



COORDERNADAS UTM

(WGS84)

X: 826841.611E

Y: 17643.483N



Punto de muestreo: PM013

COORDERNADAS UTM

(WGS84)

X: 826087.455E

Y: 17709.785N



Punto de muestreo: PM014

COORDERNADAS UTM

(WGS84)

X: 826125.448E

Y: 18344.152N



Punto de muestreo: PM015

COORDERNADAS UTM

(WGS84)

X: 826077.13E

Y: 19706.16N

PUNTOS DE MUESTREO

Comunidad: **Pesillo**

Sitio: **Acequia Pumamaqui**



Punto de muestreo: PM016

COORDENADAS UTM

(WGS84)

X: 824700.478E

Y: 20456.518N

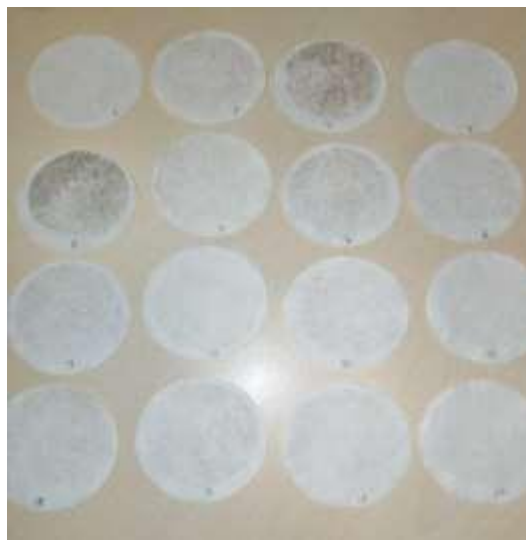
Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

Anexo B. Fotografías de sólidos suspendidos obtenidos en el laboratorio

Fotografía 9. *Sólidos Día 1*



Fotografía 10. *Sólidos Día 2*



Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020) **Elaborado por:** Caiza J, Meléndez J (2020)

Fotografía 11. *Sólidos Día 3*



Fotografía 12. *Sólidos Día 4*



Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020) **Elaborado por:** Caiza J, Meléndez J (2020)

Fotografía 13. *Sólidos Día 5*



Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

Anexo C. Datos Generales del muestreo

Tabla 20.

Coordenadas de los puntos de muestreo

PUNTO	COORDENADAS UTM		ZONA
01	829463.412E	15708.322N	17 N
02	829333.073E	15817.847N	17 N
03	829170.797E	15860.704N	17 N
04	829099.101E	15899.383N	17 N
05	828852.548E	15981.002N	17 N
06	828747.356E	16069.475N	17 N
07	828583.974E	16125.946N	17 N
08	827950.2E	16453.004N	17 N
09	827408.535E	16223.744N	17 N
10	827184.26E	17150.262N	17 N
11	826901.927E	17317.897N	17 N
12	826841.611E	17643.483N	17 N
13	826087.455E	17709.785N	17 N
14	826125.448E	18344.152N	17 N
15	826077.13E	19706.16N	17 N
16	824700.478E	20456.518N	17 N

Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

Tabla 21.*Datos de DBO₅*

DISTANCIA	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5
0	1,24	2,07	2,95	1,72	2,07
0,17	0,96	1,51	2,56	1,60	1,74
0,34	0,87	1,43	2,23	1,06	1,67
0,44	0,85	1,41	1,92	1,02	1,67
0,71	0,84	1,4	1,67	1,01	1,66
0,85	0,81	1,36	1,63	0,93	1,57
1,04	0,80	1,36	1,41	0,92	1,39
1,79	0,76	1,29	1,34	0,84	1,33
2,48	0,70	0,99	1,22	0,72	1,30
4,06	0,65	0,90	1,12	0,70	1,27
4,40	0,61	0,79	1,02	0,63	1,04
4,89	0,58	0,62	0,69	0,53	1,03
6,10	0,57	0,58	0,66	0,49	0,93
7,87	0,47	0,57	0,53	0,41	0,49
9,57	0,40	0,27	0,43	0,36	0,37
12,0	0,32	0,21	0,35	0,29	0,05

Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

Tabla 22.*Datos de DQO*

DISTANCIA	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5
0	61,0	25,6	27,2	42,0	57,0
0,17	60,0	25,6	22,2	33,4	42,0
0,34	19,6	25,3	22,1	31,4	37,8
0,44	19,0	25,3	21,6	30,2	37,2
0,71	18,5	22,7	21,4	29,2	37,0
0,85	18,2	21,0	21,2	29,2	36,9
1,04	17,8	20,2	21,2	28,0	35,3
1,79	17,4	20,1	21,2	27,0	34,2
2,48	16,6	19,3	20,7	27	33,1
4,06	16,6	18,4	20,6	27	33
4,40	16,2	17,8	20,3	25,4	27,2
4,89	15,8	17,8	20	25	22,1
6,10	14,9	16,7	19,4	24,8	22
7,87	14,6	16,4	19,3	23,2	20,7
9,57	13,8	15,9	16,3	21,6	20,2
12,0	12,6	15,8	14,8	20,8	16,4

Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

Tabla 23.*Datos de Sólidos Suspendidos*

DISTANCIA	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5
0	2100	2100	1500	3100	5500
0,17	1300	1500	1500	2500	2500
0,34	1300	1200	1400	2400	2300
0,44	1000	1100	1300	2300	2300
0,71	1200	1100	1200	2300	2100
0,85	1200	1000	1200	2000	1800
1,04	1100	900	1200	2000	1600
1,79	1000	800	1000	1900	1600
2,48	1000	800	1000	1900	1500
4,06	900	700	1000	1700	1500
4,40	600	600	1000	1700	1200
4,89	700	600	900	1500	1000
6,10	700	600	800	1500	1000
7,87	600	500	800	1200	900
9,57	400	500	600	1100	300
12,0	800	400	600	1000	200

Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)

Tabla 24.*Datos de Nitratos*

DISTANCIA	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5
0	2,10	3,50	1,70	2,20	1,90
0,17	1,80	2,10	1,60	1,80	1,80
0,34	1,80	1,80	1,60	1,70	1,60
0,44	1,70	1,80	1,50	1,60	1,60
0,71	1,70	1,80	1,40	1,50	1,40
0,85	1,70	1,80	1,30	1,40	1,40
1,04	1,60	1,70	1,20	1,40	1,40
1,79	1,60	1,60	1,20	1,30	1,40
2,48	1,60	1,60	1,20	1,20	1,20
4,06	1,60	1,50	1,10	1,10	1,20
4,4	1,40	1,00	1,00	1,00	1,10
4,89	1,40	1,00	1,00	1,00	1,10
6,10	1,40	0,96	1,00	1,00	1,00
7,87	1,20	0,86	0,80	0,80	1,00
9,57	1,00	0,83	0,76	0,80	0,90
12	0,68	0,74	0,69	0,70	0,80
Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)					

Tabla 25.*Datos de Fosfatos*

DISTANCIA	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5
0	2,98	0,59	0,72	1,50	0,84
0,17	0,53	0,59	0,67	0,55	0,56
0,34	0,37	0,55	0,61	0,55	0,54
0,44	0,36	0,52	0,60	0,53	0,48
0,71	0,33	0,45	0,57	0,45	0,44
0,85	0,27	0,39	0,45	0,45	0,38
1,04	0,26	0,34	0,44	0,39	0,34
1,79	0,26	0,33	0,44	0,35	0,32
2,48	0,26	0,27	0,38	0,33	0,26
4,06	0,25	0,26	0,25	0,32	0,26
4,40	0,22	0,24	0,17	0,32	0,22
4,89	0,21	0,22	0,15	0,31	0,21
6,10	0,19	0,15	0,12	0,3	0,21
7,87	0,19	0,15	0,11	0,26	0,14
9,57	0,17	0,12	0,08	0,25	0,12
12,0	0,14	0,10	0,03	0,24	0,06

Elaborado por: Caiza J, Meléndez J (2020)